

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
UNIDADE ACADÊMICA HUMANIDADES CIÊNCIAS E
EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

LUCI MARI SEHN

**ESTUDO DE VIABILIDADE DE USO DO GESSO QUÍMICO,
RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA E SOLO SUPERFICIAL NA
CONSTRUÇÃO DE SOLOS EM ÁREAS MINERADAS DE
CARVÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Jairo José Zocche

**CRICIÚMA
2013**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S456e Sehn, Luci Mari.

Estudo de viabilidade de uso do gesso químico, resíduos da agroindústria e solo superficial na construção de solos em áreas mineradas de carvão. / Luci Mari Sehn ; orientador: Jairo José Zocche. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2013.

102 p. : il.; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2013.

1. Áreas degradadas pela mineração de carvão. 2. Áreas degradadas – Recuperação. 3. Solos – Conservação. 4. Degradação ambiental. 5. Remediação ambiental. I. Título.

CDD. 22. ed. 333.714

FOLHA DE APROVAÇÃO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me orientaram para execução deste trabalho, especialmente aos professores Dr. Jairo José Zocche e Marcos Back. As empresas que nos cederam local para instalação do experimento e que nos cederam os resíduos que foram testados. Aos professores participantes da banca de qualificação professor Dr. Álvaro José Back e Dr. Carlyle Bezerra Torres de Menezes pelas sugestões a este trabalho. As acadêmicas Daniela Behs e Jéssica Goularte Pillon e, enfim à todas as pessoas que me ajudaram de alguma forma para esta execução.

Ao Ministério Público Federal – Santa Catarina pela bolsa de mestrado e apoio financeiro concedido através do Edital MPF-SC, objeto da Ação Civil Pública n. 93.8000533-4 e do Processo de Cumprimento de Sentença n. 2000.72.04.002543-9.

“Existem três tipos de pessoas no mundo: aquelas que fazem as coisas acontecerem, aquelas que assistem as coisas acontecerem, e aquelas que só imaginam o que aconteceu”. (Mary Kay Ash)

RESUMO

O carvão mineral é uma fonte de energia não renovável e sua exploração é responsável pelo aparecimento de muitos problemas ambientais, como a drenagem ácida de mina (DAM), a contaminação do solo, a presença de gases tóxicos e material particulado na atmosfera. A mineração de carvão é responsável por aproximadamente 6.300 ha de áreas degradadas no sul de Santa Catarina. A reabilitação, assim como a manutenção dessas áreas, para restabelecimento dos ecossistemas é obrigatória por Lei e, para isso um novo solo deve ser construído. O estudo foi desenvolvido na Unidade Minerária II da Carbonífera Criciúma S.A, na localidade de Verdinho, Forquilha, SC, com o objetivo de avaliar combinações de materiais para a construção de solos em áreas degradadas pela mineração de carvão. Foram utilizadas diferentes combinações de resíduos do tratamento da DAM (gesso químico), resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz, resíduos do tratamento de efluentes da agroindústria (lodo de ETE) e solo em um delineamento completamente casualizado 4 x 6 (seis tratamentos e com quatro repetições). Os materiais utilizados foram submetidos a análises químicas de varredura, a fim de verificar a respectiva contribuição em termos de fertilidade e toxicidade. Foram realizadas também, análises de fertilidade dos solos construídos (tratamentos) na instalação dos experimentos, seis e doze meses após. Os tratamentos V (combinação de gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola, na proporção de 33,33% cada) e VI (combinação de gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial, na proporção de 25% cada) apresentaram os melhores resultados em relação à fertilidade dos solos contruídos, evidenciados pelos valores de pH, fosforo, potássio, matéria orgânica, alumínio, cálcio, magnésio, acidez trocável, soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação de bases. O tratamento V se mostrou como o mais indicado para a construção de novos solos, pelo fato de não levar solo natural em sua composição. A disponibilidade dos materiais e a qualidade do solo produzido atestam a viabilidade de uso dos mesmos na recuperação de áreas degradadas, assim como, auxilia na diminuição dos custos ambientais, pois evita que elavados volumes de solos sejam retirados de áreas naturais para a recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: Bacia Carbonífera Catarinense. Solos antropogênicos. Lodo de ETE. Drenagem ácida de mina.

ABSTRACT

Coal is a nonrenewable energy source and its operation is responsible for the appearance of many environmental problems such as acid mine drainage (AMD), soil contamination, the presence of toxic gases and particulate matter in the atmosphere. Coal mining is responsible for approximately 6,300 ha of degraded areas in the south of Santa Catarina. Rehabilitation, as well as the maintenance of these areas for restoration of ecosystems is mandatory by law, and for this a new soil should be built. The study was developed in Unit II of mining Carboniferous Cricklewood SA, in the town of Blue whiting, Forquilha, SC, with the aim of evaluating combinations of materials for the construction of soils degraded by coal mining. We used different combinations of residues AMD treatment (chemical gypsum), the sieve residue of rice processing, waste treatment effluent agribusiness (WWTP sludge) and ground in a completely randomized 4 x 6 (six treatments and four replicates). The materials were subjected to chemical analyzes scanning in order to verify their contribution in terms of fertility and toxicity. Were also conducted analyzes of soil fertility built (treatments) in the installation of the experiments, six and twelve months. Both V (combination of chemical gypsum + Sieves waste of the rice processing wastes + agribusiness poultry , with 33.33 % each) and VI (combination of chemical gypsum + Sieves waste of the rice processing + agro-industrial residues + poultry soil surface horizon , the proportion of 25 % each) showed the best results in terms of soil fertility unimproved , evidenced by pH, phosphorus, potassium, organic matter, aluminum, calcium, magnesium, exchangeable acidity, sum of bases, cation exchange capacity and base saturation. Treatment V proved as the most suitable for the construction of new ground by not taking on his native soil composition. The availability of materials and soil quality produced attest the feasibility of their use in reclamation, as well as assists in the reduction of environmental costs because it prevents elavados volumes of soil are removed from natural areas for reclamation.

Keywords: Catarinese Coal Basin. Anthropogenic soils. Sludge. Acid mine drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo na Unidade Mineraria II da Carbonífera Criciúma S.A, coordenadas 28°47'19''S e 49°26'32''O (Datum SAD 69, fuso 22 sul), município de Forquilha, Santa Catarina, Brasil. O ponto vermelho indica a localização aproximada da Unidade Mineraria II no município de Forquilha, a linha vermelha, indica os limites da propriedade e a letra A em vermelho, indica a localização da área experimental.	34
Figura 2 - Esquema demonstrando a disposição dos blocos e das parcelas do delineamento 4x6 do tipo bloco completamente casualizado. A ordem de disposição dos blocos e dos tratamentos (parcelas experimentais) em cada bloco foi definida por meio de sorteio.	35
Figura 3A e 3B – Em 3A, vista parcial da disposição do bloco experimental 1, com suas respectivas parcelas sendo construídas. No canto esquerdo da figura 3A, observa-se a primeira parcela, preenchida com materiais do tratamento 1. Em 3B, da esquerda para a direita, disposição das parcelas dos blocos experimentais 4 e 3, dois meses após a instalação do experimento. As linhas verdes definem os limites de cada bloco experimental.	36
Figura 4 - Esquema da sequência dos materiais (rejeitos do beneficiamento e finos da lavagem de carvão, solo de horizonte subsuperficial, tratamento em questão e turfa) disposto nos tratamentos II, III, IV, V e VI.	38
Figura 5 - Variação na textura dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	56
Figura 6 - Variação no potencial hidrogeniônico (pH) dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	57
Figura 7 - Variação no conteúdo de fósforo trocável dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	57
Figura 8 - Variação no conteúdo de potássio trocável dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	58
Figura 9 - Variação no conteúdo de matéria orgânica dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	58
Figura 10 - Variação no conteúdo de alumínio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	59
Figura 11 - Variação no conteúdo de cálcio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	59
Figura 12 - Variação no conteúdo de magnésio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	60

Figura 13 - Variação no conteúdo de sódio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	60
Figura 14 - Variação no na soma de bases dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	61
Figura 15 - Variação na CTC dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	62
Figura 16 - Variação na saturação por bases dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Conteúdo trocável (mg kg^{-1}) dos elementos químicos em cada material utilizado para a composição dos tratamentos (abril/2011). Onde: SHSs = solo do horizonte subsuperficial, SHS = solo do horizonte superficial, GQ = gesso químico, RAA = resíduos da agroindústria avícola, RPBA = resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz, VRQs = valores orientadores de referência de qualidade de solo (mg kg^{-1}) segundo Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) e, MMS = médias mundiais (mg kg^{-1}) segundo Allen et al. (1974), exceto quando indicado pelo *.	47
Tabela 2 - Conteúdo de nitrogênio total (%), fósforo extraível (%), carbono orgânico total (%) e enxofre extraível (%) dos materiais utilizados na composição dos tratamentos (abril/2011).	48
Tabela 3 - Valores médios \pm desvio padrão ($n = 4$) dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, analisados na instalação do experimento (tempo zero meses - abril/2011), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).	50
Tabela 4 - Valores médios (\pm o desvio padrão) dos parâmetros de fertilidade de cada tratamento, avaliados seis meses após a instalação dos experimentos (tempo seis meses), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).	53

Tabela 5 - Valores médios \pm desvio padrão (n = 4) dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, analisados doze meses após a instalação do experimento (tempo doze meses – março/2012), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).	55
Tabela 6 - Variação média e interpretação dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, nos três tempos de análise (zero, seis e doze após a instalação do experimento), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial)).	63
Tabela 7 - Estimativas das quantidades de materiais e dos custos para recuperação de 1 hectare de solo construído sobre áreas mineradas de carvão no sul de Santa Catarina, considerando-se as proporções utilizadas no tratamento V.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
Dnpm	Departamento Nacional de Produção Mineral
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
ROM (Run off Mine)	Minério Bruto
IPAT	Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
CBCA	Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá
CCU	Companhia Carbonífera Urussanga
SIECESC	Sindicato da Indústria de Extração de Carvão do Estado de Santa Catarina
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CM	Carvão metalúrgico
DAM	Drenagem ácida de mina
ABMC	Associação Brasileira de Carvão Mineral
pH	Potencial Hidrogeniônico
Fe	Ferro
Al	Alumínio
Mn	Manganês
NUPEA	Núcleo de Pesquisa em Economia Aplicada
IBRAM	Instituto Brasileiro de Museus
SO ₂	dióxido de enxofre
EMBRAPA	Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
S	Enxofre
Bo	Boro
Cl	Cloro
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
Co	Cobalto
Zn	Zinco
CTC	Capacidade de Troca de Cátions

Al	Alumínio
An	Antimônio
Ba	Bário
Cd	Cadmio
Pb	Chumbo
Cr	Cromo
Es	Estanho
Li	Lítio
Mo	Molibdênio
Na	Sódio
Va	Vanádio
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Al^{3+}	Alumínio trocável
NH_4^+	Amônio
NO_3^-	Nitrato
CO_2	Gás carbônico
H^+	hidrogênio
KCl	Cloreto de potássio
SB	Soma de bases
V	Saturação por bases
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Sulfato de cálcio dihidratado
CaO	Óxido de Cálcio
F	Fluor
P_2O_5	Pentóxido de fósforo
MgO	Óxido de magnésio
Fe_2O_3	Óxido de ferro
Al_2O_3	Óxido de alumínio
CaO	Óxido de cálcio
ETE	Estação de tratamento efluentes
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CH_4	Metano
HNO_3	Ácido nítrico
ICPOES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry).	
$K_2Cr_2O_7$	Dicromato de potássio
$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	SUPERFOSFATO SIMPLES
HCl	Ácido Clorídrico
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
SNK	(Student Newman-Keuls test)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO	28
2.2 MINERAÇÃO DE CARVÃO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	29
2.3 SOLO	30
3 OBJETIVOS	32
3.1 OBJETIVO GERAL	32
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	32
4 METODOLOGIA	33
4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
4.2 PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS	35
4.2.1 Tratamentos.....	37
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO	39
4.3.1 Solo superficial e subsuperficial.....	39
4.3.2 Gesso químico	39
4.3.3 Resíduos da agroindústria avícola	40
4.3.4 Resíduos do beneficiamento de arroz.....	41
4.3.5 Turfa	42
4.4 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS	43
4.4.1 Avaliação química dos materiais utilizados na composição dos tratamentos.....	43
4.4.2 Avaliação dos conteúdos de N, P, CO e S nos materiais utilizados na composição dos tratamentos.....	44
4.4.3 Avaliação da fertilidade dos solos construídos	44
4.4.4 Análises estatísticas.....	45
5 RESULTADOS.....	46
5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS	46
5.2 CONTEÚDOS DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (C) E ENXOFRE (S) DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS	48
5.3 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) NA INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO ZERO).....	48
5.4 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) SEIS MESES APÓS A INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO SEIS MESES).....	52

5.5 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) DOZE MESES APÓS A INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO DOZE MESES).....	54
5.6 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) AO LONGO DOS TRÊS TEMPOS DE ANÁLISE (ZERO, SEIS E DOZE MESES).....	56
5.7 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE MATERIAIS E DO CUSTO POR HECTARE PARA A RECUPERAÇÃO DO SOLO.....	64
6 DISCUSSÃO	66
6.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS	67
6.2 CONTEÚDOS DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (C) E ENXOFRE (S) DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS	71
6.3 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) AO LONGO DOS TRÊS TEMPOS DE ANÁLISE (ZERO, SEIS E DOZE MESES).....	73
6.3.1 Textura.....	73
6.3.2 Potencial hidrogeniônico.....	74
6.3.3 Conteúdo de fósforo.....	75
6.3.4 Conteúdo de potássio.....	77
6.3.5 Conteúdo de matéria orgânica.....	78
6.3.6 Conteúdo de alumínio trocável.....	79
6.3.7 Conteúdo de cálcio.....	81
6.3.8 Conteúdo de magnésio.....	82
6.3.9 Conteúdo de sódio	83
6.3.10 Soma de bases e saturação de bases.....	83
6.3.11 Capacidade de troca catiônica	84
6.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS POR HECTARE PARA A RECUPERAÇÃO DO SOLO	85
7 CONCLUSÃO	88

1 INTRODUÇÃO

O carvão mineral constitui-se na maior fonte de energia não renovável brasileira. Das reservas de energia o carvão mineral representa cerca de 50%, seguido pelas reservas de energia nuclear com 27%, reservas de petróleo com 8% e as reservas de gás natural, xisto e turfa perfazem o restante (CETEM, 2001). O carvão abrange 75% dos recursos mundiais de energia fóssil, identificados (MÜLLER, 1987). Como fonte de energia teve sua importância maior no início do século XVIII, com a revolução industrial.

As reservas brasileiras perfazem 32 bilhões de toneladas. Deste total, 89,25% encontram-se no estado do Rio Grande do Sul, 10,41% em Santa Catarina, 0,32% no Paraná e 0,02% em São Paulo. A maior jazida brasileira é a de Candiota, situada no sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, a qual detém 38% de todo o carvão nacional (CPRM, 2012).

O carvão é extraído através da lavra, que pode ser subterrânea ou a céu aberto. A determinação do método de extração vai depender das características geológicas do depósito (HÜLSE & OLIVEIRA, 1985).

Segundo DNPM (2004), os jazimentos são classificados conforme a profundidade em que se encontram, como aflorante (até 40 metros) e profundos (além de 40 metros). Esta classificação de jazimento superficial e profundo é dada em função do custo-benefício econômico de sua exploração que determina a forma de mineração (a céu aberto e de subsolo). Embora sejam distintas no modo de extração do minério cada forma emprega uma série de técnicas que tem gerado vários impactos ambientais (ZOCHE, 2008).

A mineração céu aberto, apesar de ser a mais antiga das minerações de carvão, só se desenvolveu em maior escala após o aparecimento das escavadeiras mecânicas, no final do século XIX (FREITAS, 2007). Em Santa Catarina a lavra mecanizada teve início por volta de 1940 (CETEM, 2001) e desde então, assim como a mineração de subsolo, tem provocado alterações físicas, químicas e biológicas nos ecossistemas, comprometendo os recursos hídricos, o solo e à biota de forma direta (COSTA; ZOCHE, 2004; 2005; ZOCHE, 2005; 2008; COSTA et al., 2007; FREITAS et al., 2007; ZOCHE-DE-SOUZA et al., 2007; COSTA, 2007; COSTA; ZOCHE, 2009; ZOCHE et al., 2010a; 2010b), numa extensão de aproximadamente 6.191 ha (GTA, 2012).

A mineração a céu aberto, sem cuidados ambientais, executada na Bacia Carbonífera Catarinense até meados da década de 1980, consistia

na retirada da cobertura vegetal, do solo e dos estéreis da mineração, até encontrar as camadas de carvão. A vegetação e o solo eram depositados na base e as camadas superiores de folhelhos e estéreis da mineração no topo de pilhas, geralmente cônicas, com até 20 m de altura, gerando a inversão de camadas litológicas e criando uma paisagem estéril, denominada de paisagem lunar (ALEXANDRE, 1999).

Os carvões brasileiros possuem alto teor de cinzas (material inerte, não carbonoso composto basicamente por silicatos e quartzos) além de pirita que é um mineral constituído basicamente de enxofre, ferro e também elementos-traços que podem apresentar elevado poder de toxicidade quando dispersos em quantidades superiores a sua demanda pelos seres vivos no ambiente (MONTEIRO, 2004).

Em Santa Catarina os materiais carbonosos ou piritosos não são aproveitados para fins de combustão direta, sendo rejeitados ao longo do beneficiamento. A outra parcela de 27% é constituída pelo carvão energético e outros derivados (MACHADO et al., 1984).

A Região Carbonífera Catarinense apresenta uma produção bruta média de 720.000 ton./mês de ROM, com uma recuperação média de 36% do carvão bruto após o beneficiamento. Têm-se desta forma, a geração de aproximadamente 460.800 ton./mês de rejeitos sulfetados (tais como a pirita, marcassita, a pirolusita e a calcopirita) (DNPM-BRASIL, 2007), denotando-se assim, o grande impacto ambiental causado mensalmente (MADEIRA et al., 2005).

Os rejeitos são minerais que possuem poder calorífico insignificante para geração de energia e ao serem queimados geram grandes quantidades de SO_x . Devido seu alto poder de poluição devem ser descartados sob condições específicas (FAVERI et al., 2009; SILVEIRA et al., 2009). Este descarte deve ser feito de forma que não venha a se constituir em um passivo ambiental, ao mesmo tempo em que é esperado que as áreas de descarte possam ser utilizadas para fins econômicos e sociais ecologicamente sustentáveis. A ação do intemperismo sobre o rejeito provoca o aparecimento de água e solos ácidos, com drenagens contendo ferro, alumínio, manganês e outros metais (IPAT/UNESC, 2002).

Os efluentes oriundos das minas e dos depósitos de rejeitos geram quantidades significativas de drenagem ácida de mina (DAM), a qual deve ser tratada antes de ser descartada como efluente. Dependendo do método adotado, vários subprodutos resultam do tratamento da DAM e um destes é o gesso químico, o qual pode ser utilizado como material

para a melhoria do ambiente da zona de raízes das plantas em áreas de cultivo agrícola (SOUSA et al., 2005).

Além da mineração do carvão, outras atividades econômicas geram impactos ambientais na Região Sul Catarinense, como por exemplo, a agroindústria ligada ao beneficiamento do arroz e ao processamento de frangos, as quais produzem quantidades significativas de resíduos orgânicos. Os resíduos do beneficiamento do arroz são depositados a céu aberto ou queimados em fornalhas para obtenção de energia, enquanto que os oriundos do processamento de frangos, após a estabilização são encaminhados para aterros sanitários.

No processo de reabilitação de áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto, o solo superficial e subsuperficial anteriormente existente sobre as camadas de estéréis e demais materiais que sobrepõem às camadas de carvão é utilizado para reconstrução topográfica da área minerada. Este novo solo construído deverá apresentar as condições necessárias para desenvolvimento da vegetação (PINTO, 2007) o que normalmente não acontece, necessitando assim de correções químicas sucessivas

O presente estudo tem por objetivo, verificar a viabilidade de uso do gesso químico, oriundo do tratamento de drenagem ácida de mina, combinado com os resíduos da agroindústria para a construção do solo e consequente reabilitação ambiental das áreas degradadas pela mineração do carvão.

Espera-se obter uma combinação de insumos (solo superficial e subsuperficial, gesso químico, resíduos do beneficiamento de arroz, resíduos do tratamento de efluentes da agroindústria) que seja econômica e ecologicamente viável para ser utilizada na reabilitação de áreas degradadas pela mineração do carvão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 HISTÓRICO DA MINERAÇÃO DE CARVÃO

O carvão é formado basicamente por carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre e traços de outros elementos, que constituem sua matéria carbonosa, além de minerais como a pirita (CETEM, 2001).

No Brasil a descoberta do carvão data de 1795 (MÜLLER, 1987). Em Santa Catarina, o início das atividades carboníferas aconteceu no final do Século XIX, realizadas por uma companhia britânica. Em 1885 foi inaugurado o primeiro trecho da Ferrovia Dona Tereza Cristina, ligando Lauro Müller ao Porto de Laguna e chegando, em 1919, a Criciúma. Em 1917 entra em operação a Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá (CBCA) e, 1918, a Companhia Carbonífera Urussanga (CCU). Na década seguinte, em 1921, surgem a Companhia Carbonífera Próspera e a Companhia Carbonífera Ítalo-Brasileira e em 1922, a Companhia Nacional Mineração Barro Branco. Como o carvão catarinense era considerado de baixa qualidade não despertou muito interesse (SIECESC, 2011).

A mineração de carvão no sul do Brasil teve seu primeiro impulso no período entre 1914/1918 em decorrência da primeira Guerra Mundial, quando o governo brasileiro incentiva a produção carbonífera como estratégia para desenvolvimento do País (LUCA; GASTALDON, 1999). Em 1944 teve o início da mineração de carvão a céu aberto nos municípios de Siderópolis, Treviso, Urussanga e Lauro Müller (GOETHE, 1993). O segundo evento veio no Governo Federal Getúlio Vargas, com decreto determinando o consumo do carvão nacional e com a construção da Companhia Siderúrgica nacional (CSN) em 1946 (SIECESC, 2011). No início da mineração de carvão no sul do Estado, a produção era destinada para fins energéticos sendo utilizado como combustível no Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, situado no município de Capivari de Baixo (SC), posteriormente o fornecimento do carvão do tipo metalúrgico (CM), com maior poder calorífero, foi para a produção nacional de aço da CSN (HISTÓRICO, 2011). O último impulso no setor foi dado com a crise do petróleo em 1973. No início da década de 1990 o setor é desregulamentado por decreto do Governo Federal (SIECESC, 2011).

A faixa de ocorrência de carvão, no Brasil, estende-se do Estado de São Paulo ao Rio Grande do Sul (BELOLLI et al., 2002). A Bacia Carbonífera Catarinense possui aproximadamente 100 quilômetros de

comprimento e largura média de 20 quilômetros e se estende desde o sul de Araranguá até Lauro Müller (MÜLLER, 1987). A exploração de carvão em Santa Catarina ocorreu nos municípios de Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Cocal do Sul, Treviso, Criciúma, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça e Maracajá, originando grandes centros de mineração de carvão na região Sul do Estado (BELOLLI et al., 2002).

2.2 MINERAÇÃO DE CARVÃO E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

A mineração de carvão é responsável pelo aparecimento de muitos problemas ambientais, entre os quais, a drenagem ácida de mina (DAM). A DAM é intensamente poluidora dos solos e dos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que recebem ao longo do tempo aporte de metais pesados oriundos das minas de carvão existentes na região (AMARAL; KREBS, 2011). A geração de drenagem ácida em minas de carvão está condicionada à presença de minerais sulfetados expostos ao oxigênio e à água (BARBOSA, 2011).

Os rios comprometidos com a DAM, no sul do estado de Santa Catarina pertencem às bacias do rio Tubarão, rio Araranguá e rio Urussanga (ALEXANDRE, 1999). Estas bacias recebem diariamente os efluentes gerados em 134 minas de carvão (que abrangem uma faixa de 2.964 ha), 115 áreas de depósitos de rejeitos (que somam 2.734 ha), 77 locais que contém diversas lagoas ácidas (distribuídos em 58 ha) e centenas de minas subterrâneas (ABMC, 2011). Segundo o terceiro relatório do Grupo Técnico de Assessoramento (GTA, 2012), na sua segunda campanha de monitoramento realizada em meados do terceiro trimestre de 2007 e início do ano de 2008, foram mapeados 6.314 ha de áreas impactadas pela mineração de carvão, das quais: 354 ha eram compostos por áreas de extração de argila (utilizada para reabilitação de áreas degradadas), 191 eram compostas por lagoas ácidas internas as frentes de lavra, 3.405 compunham áreas em processo de revegetação, 821 ha representavam as áreas ocupadas pela urbanização e; 1.569 ha estavam ocupados por rejeitos ou por áreas que foram mineradas a céu aberto.

Os municípios de Cocal do Sul, Criciúma, Forquilha, Içara, Lauro Müller, Morro da Fumaça, Siderópolis, Urussanga e Capivari de Baixo somam aproximadamente 6.400 ha de áreas degradadas, sendo que os locais destinados à deposição dos rejeitos, que representam cerca de 70% do carvão catarinense, abrangem uma área que varia de 1.600 ha (GASTOLDON; DE LUCA 1999) a 2.734 ha (ABMC, 2011).

Além da contaminação da água, a contaminação do solo também é muito expressiva. Nas pilhas de estéreis e rejeitos de carvão, formadas pela mineração, a atuação dos fatores climáticos contribui para a alteração dos sulfetos de ferro, acarretando a lixiviação de vários elementos químicos ou compostos presentes no meio e, consequentemente, na geração da DAM. Nestes ambientes, a DAM é caracterizada por apresentar baixo pH, elevada acidez e por conter elevadas concentrações de Fe, Al, Mn e sulfatos (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

Nas áreas mineradas a céu aberto, a vegetação original foi completamente destruída, e os solos foram perdidos ou enterrados com os resíduos, alterando suas condições estruturais e hídricas (SHUKLA et al., 2004). Assim sendo, a exploração de carvão mineral é responsável pela produção e pelo acúmulo descontrolado de grandes volumes de rejeitos (GAIVIZZO et al., 2002).

Outro problema da mineração de carvão é a combustão espontânea que gera gases tóxicos e material particulado, este último, também pode ser liberado através do intemperismo dos produtos originados da mineração (UNESC/NUPEA-CPRM, 1997). O material particulado é constituído de partículas totais em suspensão, partículas inaláveis e fumaça (IBRAM, 2011). Esse material, afeta a capacidade do sistema respiratório de remover as partículas existentes no ar inalado, resultando na retenção destas (MONTEIRO, 2004). Na utilização do carvão, a queima do enxofre produz o dióxido de enxofre (SO_2), um óxido ácido, irritante e tóxico para os seres humanos (IBRAM, 2011). Este agrava e contribui para o surgimento de doenças respiratórias (MONTEIRO, 2004).

2.3 SOLO

O solo é um conjunto de corpos naturais, constituídos de partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos. Possui matéria viva, sendo vegetado ou não na natureza e pode ter sido modificado antropicamente (EMBRAPA, 2009). Limita-se na parte superior pela biosfera e pela atmosfera com as quais se entrelaça. O limite inferior torna-se mais difícil de ser definido porque passa progressivamente à rocha dura ou material inconsolidado, onde dificilmente há raízes (LEPSCH, 2002).

Do ponto de vista pedológico, é considerado como um sistema disperso constituído de três fases: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida

apresenta partículas de diferentes tamanhos e é também conhecida como textura. Esta é bastante estável e de grande importância na identificação, descrição e classificação do solo, assim como, pela correlação com a superfície específica (JORGE, 1985). As fases líquida e gasosa variam bastante conforme as interferências atmosféricas, estas ocupam poros do sistema disperso do solo e compõem a porosidade total deste, variam em função inversa uma da outra (MONIZ, 1972).

Segundo (ALBA, 2007) o solo é um sistema de múltiplas fases consistindo de numerosas fases sólidas (minerais e húmus), uma fase líquida (água ou solução do solo) e uma fase gasosa (ar do solo). Sobreposta a esta existe a fase “viva” composta por bactérias, fungos, protozoários, nematóides, etc.

As plantas clorofiladas precisam de energia solar, gás carbônico, água, macro e micro nutrientes. Salvo exceções tanto a água como os nutrientes só podem ser fornecidas através do solo, que assim funciona como mediador, principalmente dos fluxos de água entre a hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera (LEPSCH, 2002).

O solo é caracterizado de acordo com suas propriedades físicas, químicas e biológicas (DAJOZ, 2006). Os indicadores de qualidade físicos normalmente utilizados são a densidade, a porosidade, a estabilidade de agregados e a resistência mecânica do solo à penetração (LIMA, 2007). Já os índices de fertilidade são teor de argila, pH do solo, acidez potencial ($H+Al$), fósforo, matéria orgânica, cálcio, magnésio, alumínio trocável, capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases e saturação de bases (SBCS, 2004).

O grau de modificação de um solo exercido pela atividade humana é variável. Dependendo do grau de modificação, o solo poderá ser enquadrado em uma classificação de solos antropogênicos, tal como: naturais (solo original não transformado); naturais transformados (solo superficial transformado – até 50 cm e solo subsuperficial original); transformados (solo transformado em profundidade maior que 50 cm) e construídos (solos artificiais onde o perfil é determinado pelo homem) (ALBA, 2007).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade do uso combinado de gesso químico (oriundo do tratamento da drenagem ácida da mineração do carvão), lodo de estação de tratamento de efluentes de agroindústria, resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e solo superficial, para a construção de solos em áreas degradadas pela mineração do carvão em processo de reabilitação.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Testar diferentes tipos de tratamentos, na construção de solos sobre áreas degradadas pela mineração de carvão, envolvendo diferentes combinações de proporções materiais como gesso químico, lodo do tratamento de efluentes da agroindústria, resíduos do beneficiamento de arroz e solo superficial;

b. Avaliar a fertilidade dos solos construídos nos diferentes tipos de tratamentos;

c. Definir o tratamento mais recomendado para a construção dos solos sobre áreas degradadas pela mineração do carvão, com base em indicadores de fertilidade;

d. Estimar com base nos resultados obtidos, os custos para a construção de solos em áreas degradadas pela mineração do carvão.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

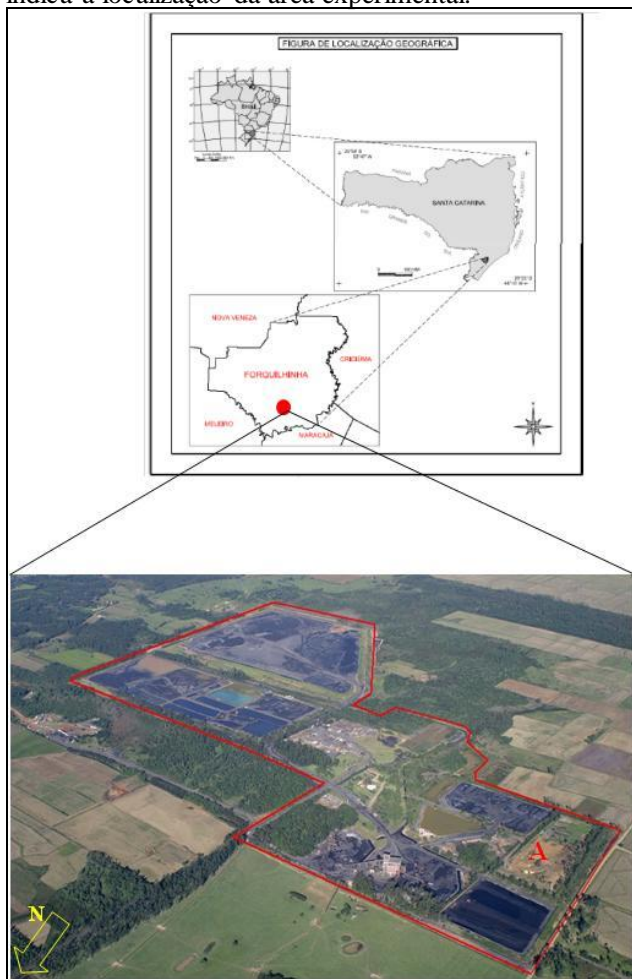
O estudo foi realizado na Unidade Mineraria II da Carbonífera Criciúma S.A., coordenadas 28°47'19''S e 49°26'32''O (*Datum* SAD 69, fuso 22 sul), município de Forquilha, Santa Catarina, Brasil (Figura 1).

A Unidade Mineraria II ocupa hoje uma área de 135 ha, onde estão localizados dois poços, um plano inclinado para acesso à camada, usina de beneficiamento de carvão, oficinas, refeitórios, escritórios, pátios para disposição de carvão, depósitos de rejeitos de beneficiamento, bacias de decantação, estação para tratamento de efluentes e uma horta.

O clima, segundo a classificação climática de Köppen (1948), é enquadrado no tipo Cfa (mesotérmico úmido e com verão quente). A precipitação total anual pode variar entre 1.220 a 1.660 mm, com um total anual de 98 a 150 dias de chuva (EPAGRI, 1999). A umidade relativa do ar apresenta valores mais altos no inverno, variando entre 79,1 % em dezembro a 87,5% em julho (BACK, 2009). A temperatura média anual para a área varia entre 17 e 19,3 °C, com máximas de 23,4 a 25,9 °C e mínimas de 12 a 15°C (EPAGRI, 1999). Com relação à direção do vento observa-se o predomínio dos ventos sudeste (acima de 25%), seguido por ventos nordeste. A velocidade média do vento varia entre 1,8 m/s a 2,6 m/s, sendo que a maior ocorrência de ventos fortes se dá nos meses de julho a dezembro, chegando acima de 12 m/s nos meses de setembro, outubro e novembro (BACK, 1999).

A cobertura vegetal regional é representada por formações da Floresta Ombrófila Densa que compreende as planícies e serras da costa catarinense, com ambientes marcados intensamente pela influência oceânica, traduzida em elevado índice de umidade e baixa amplitude térmica (SANTA CATARINA, 1986). A área encontra-se numa zona de transição entre a Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas do tipo Mata Paludosa e a Floresta Ombrófila Densa Submontana. Esta floresta apresenta variações fitofisionômicas características, em função de um gradiente altitudinal, sendo dividida em Floresta das Terras Baixas (0 a 30 m), Floresta Ombrófila Densa Submontana (30 a 450 ou a 650 m) e Floresta Ombrófila Densa Montana (acima de 450 ou 650 m) (TEIXEIRA et al., 1986).

Figura 1 - Localização da área de estudo na Unidade Minerária II da Carbonífera Criciúma S.A, coordenadas $28^{\circ}47'19''\text{S}$ e $49^{\circ}26'32''\text{O}$ (Datun SAD 69, fuso 22 sul), município de Forquilha, Santa Catarina, Brasil. O ponto vermelho indica a localização aproximada da Unidade Minerária II no município de Forquilha, a linha vermelha, indica os limites da propriedade e a letra A em vermelho, indica a localização da área experimental.



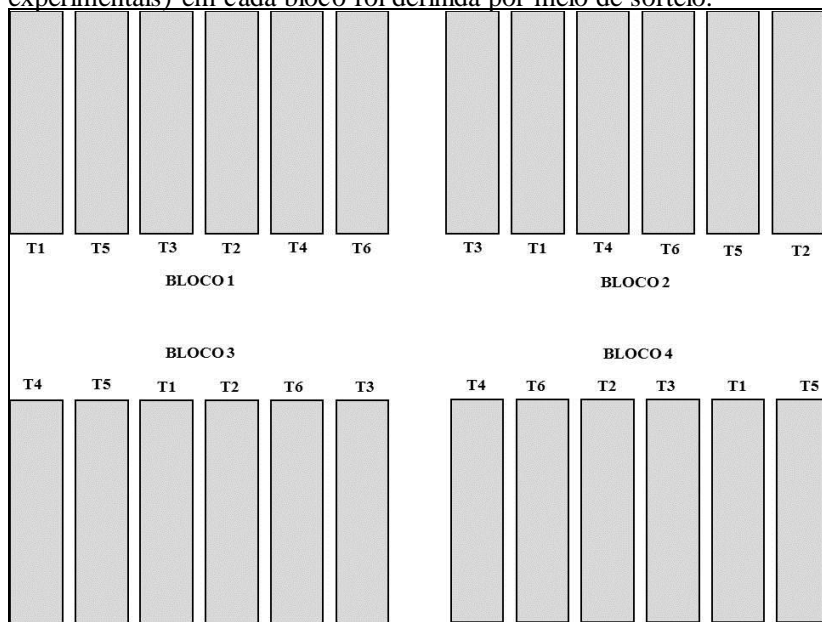
Fonte: Imagem panorâmica - Carbonífera Criciúma (2007) e os mapas de localização IPAT/UNESC (2011, modificada).

4.2 PROCEDIMENTOS AMOSTRAIS

Para o desenvolvimento do presente trabalho, sobre uma antiga área de depósito de rejeitos do beneficiamento do carvão recoberta com material argiloso e terraplanada, foi espalhada uma camada adicional de material argiloso de aproximadamente 0,30 m de espessura, sobre a qual foi instalado, em abril de 2011, um experimento do tipo delineamento blocos casualizados, com a combinação de diferentes materiais que constituem os diferentes tipos tratamentos.

Foram implantados quatro blocos experimentais (Blocos 1, 2, 3 e 4) constituídos de seis parcelas (4x6) (figura 2).

Figura 2 - Esquema demonstrando a disposição dos blocos e das parcelas do delineamento 4x6 do tipo bloco completamente casualizado. A ordem de disposição dos blocos e dos tratamentos (parcelas experimentais) em cada bloco foi definida por meio de sorteio.



Fonte: Da autora, 2013.

As parcelas foram construídas com tábuas de eucaliptos de 6,0 x 1,0 x 0,50 m, distantes entre si em 0,80 m, conforme ilustram as figuras 3A e 3B.

Figura 3A e 3B – Em 3A, vista parcial da disposição do bloco experimental 1, com suas respectivas parcelas sendo construídas. No canto esquerdo da figura 3A, observa-se a primeira parcela, preenchida com materiais do tratamento 1. Em 3B, da esquerda para a direita, disposição das parcelas dos blocos experimentais 4 e 3, dois meses após a instalação do experimento. As linhas verdes definem os limites de cada bloco experimental.



Fonte: Da autora, 2013.

Cada parcela abriga um tipo de tratamento (Figura 4), que representa as composições de substrato de cada respectivo tratamento, conforme descrito a seguir.

4.2.1 Tratamentos

- Tratamento I (testemunha): [rejeitos] – camada de 0,50 m homogeneizada e exposta, composta por rejeitos do beneficiamento e por rejeitos da lavagem do carvão na proporção de 50% cada, e sobre este uma camada 0,02 m de turfa de raspagem;

- Tratamento II: [rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial] – camada de 0,20 m homogeneizada, composta por rejeitos do beneficiamento e por finos da lavagem do carvão na proporção de 50% cada, recoberta por uma camada de 0,10 m de solo do horizonte subsuperficial, recoberta por uma camada de 0,20 m de solo do horizonte superficial (*topsoil*) e sobre este uma camada de 0,02 m de turfa de raspagem;

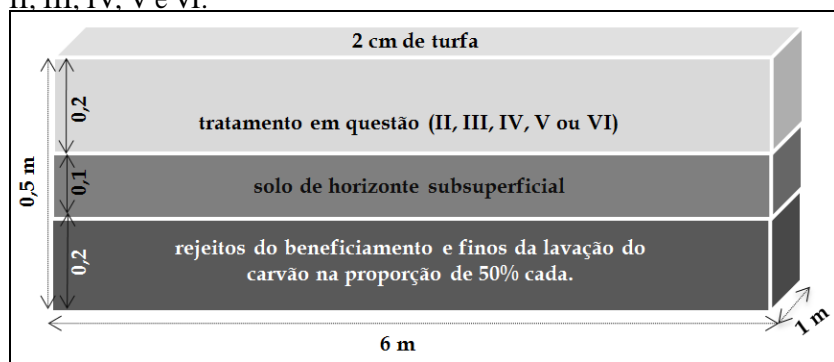
- Tratamento III: [rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico] – camada de 0,20 m homogeneizada, composta por rejeitos do beneficiamento e por finos da lavagem do carvão na proporção de 50% cada, recoberta por uma camada de 0,10 m de solo do horizonte subsuperficial por uma camada de 0,20 m de gesso químico e sobre este uma camada 0,02 m de turfa de raspagem;

- Tratamento IV: [rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + solo do horizonte superficial)] – camada de 0,20 m homogeneizada, composta por rejeitos do beneficiamento e por finos da lavagem do carvão, recoberta por uma camada de 0,10 m de solo do horizonte subsuperficial, recoberta por uma camada de 0,20 m homogeneizada, de gesso químico e de solo do horizonte superficial na proporção de 50% cada e sobre esta uma camada 0,02 m de turfa de raspagem;

- Tratamento V: [rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola)] – camada de 0,20 m homogeneizada, composta de rejeitos do beneficiamento e por finos da lavagem do carvão, recoberta por uma camada de 0,10 m de solo do horizonte subsuperficial, recoberta por uma camada de 0,20 m homogeneizada, composta de gesso químico, de resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e por resíduos da agroindústria avícola, na proporção de 33,33% cada e sobre esta uma camada 0,02 m de turfa de raspagem;

• **Tratamento VI:** [rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial (*topsoil*))] – camada de 0,20 m homogeneizada, composta de rejeitos do beneficiamento e por finos da lavação do carvão, recoberta por uma camada de 0,10 m de solo do horizonte subsuperficial, recoberta por uma camada de 0,20 m homogeneizada, composta de gesso químico, resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz, resíduos da agroindústria avícola e de solo do horizonte superficial, na proporção de 25% cada e sobre esta uma camada 0,02 m de turfa de raspagem

Figura 4 - Esquema da sequencia dos materiais (rejeitos do beneficiamento e finos da lavação de carvão, solo de horizonte subsuperficial, tratamento em questão e turfa) disposto nos tratamentos II, III, IV, V e VI.



Fonte: Da autora, 2013.

As parcelas foram preenchidas em seus quatro lados, desde a base até a altura que receberam os rejeitos e finos de carvão, com uma camada de aproximadamente 0,15 m de largura do solo subsuperficial. Esta camada foi preenchida simultaneamente ao preenchimento das parcelas experimentais, ao mesmo tempo em que era compactada manualmente com o objetivo de minimizar os efeitos do oxigênio atmosférico e da umidade do ar sobre o intemperismo dos rejeitos.

Cada parcela de cada tratamento recebeu também a cobertura final com uma camada de turfa de raspagem (turfa ecológica) de aproximadamente 0,02 m, a qual foi incorporada manualmente aos solos construídos com a finalidade proporcionar banco de sementes para o estabelecimento espontâneo da cobertura vegetal.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

4.3.1 Solo superficial e subsuperficial

Os solos superficial e sub-superficial usados no experimento são originários de uma área de empréstimo de material para cobertura das células de depósito de rejeitos, localizada no terreno da Unidade Minerária II.

De acordo com Embrapa (2001) este solo é classificado como Cambissolo. Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte A ou horizonte hístico com espessura inferior a 40 cm, seguido de horizonte B incipiente e que satisfaça demais requisitos especificados pelo Sistema de Classificação quanto a sua ocorrência e constituição.

No local de empréstimo ocorre, conforme Epagri (2001) ocorre o tipo Cambissolo cd_4 , que é representado pela Associação Cambissolo Distrófico Tb A moderado textura argilosa fase floresta tropical perúmida relevo praticamente plano e suave ondulado + Glei Pouco Húmico Distrófico Ta textura argilosa fase floresta tropical perenifólia de várzea relevo plano.

4.3.2 Gesso químico

O gesso químico, é um sulfato de cálcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) que é utilizado para produção de ácido fosfórico. As indústrias de fertilizantes utilizam como matéria prima a rocha fosfática (apatita), que ao ser atacada por ácido sulfúrico mais a água produz como subproduto da reação o sulfato de cálcio e o ácido fluorídrico. Sua composição química é: S(17,7%); CaO (30,9%); F (0,2%) e P_2O_5 (0,7%) (DIAS, 1992).

Pode ser originado ainda a partir do tratamento da drenagem ácida de mina. Segundo informações da Divisão Química da Carbonífera Criciúma S.A., o gesso químico gerado no processo de tratamento da drenagem ácida de mina, se dá através de uma reação controlada entre ácido sulfúrico diluído e a cal virgem. O produto final se apresenta rico em cálcio e enxofre. A produção mensal do material (gesso químico acabado, moído e com umidade aproximada de 30%), na Unidade Minerária II da Carbonífera Criciúma, gira em torno de 100 toneladas por mês (dados de 2010).

Segundo o laudo técnico de caracterização química do gesso químico, fornecido pela Carbonífera Criciúma S.A este material é formado basicamente de $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, com a seguinte composição: óxido de magnésio (MgO) < 0,50%; óxido de ferro (Fe_2O) de 4,0 a 6,0%; óxido de alumínio (Al_2O_3) de 0,6 a 10,0%; óxido de cálcio (CaO) de 22,0 a 28,0%; Sulfatos (SO_4) de 38,0 a 48,5% e teor de Gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) de 68,0 a 85,0%.

4.3.3 Resíduos da agroindústria avícola

Os resíduos da agroindústria avícola, oriundos da estação de tratamento de efluentes (ETE), também conhecidos como lodo da ETE, são definidos como resíduos semissólidos resultantes do tratamento de efluentes ou de água. Sua composição é basicamente orgânica variando em função do sistema de tratamento, da origem do material decomposto e do próprio lodo presente dentro das estações de tratamento (PEGORINI et al., 2003).

A gestão do lodo gerado na estação de tratamento de efluente é um grande desafio para o sucesso econômico, técnico e operacional do sistema. Estudos mostram que a disposição final adequada pode chegar a representar até 60% dos custos operacionais da estação (FERNANDES; SOUZA, 2001).

A produção de lodo na agroindústria avícola está diretamente ligada às condições de abate e processamento das carnes, bem como a quantidade de água utilizada para higienização. Todo resíduo gerado na indústria deve ter um destino final adequado, sendo economicamente viável e ambientalmente correto (SENA, 2009).

Segundo informações da empresa fornecedora do resíduo para este estudo, os resíduos gerados na unidade de processamento de frango, giram em torno de 14 ton./dia. Ainda conforme o responsável técnico da Empresa, entre as três agroindústrias de maior representatividade da região sul de SC, a média de produção diária de lodo em 2011 girava entorno de 38 ton./dia.

De acordo com o laudo técnico datado de 2008, apresentado pela Empresa fornecedora de lodo de ETE para o desenvolvimento da presente pesquisa, o referido lodo é classificado como resíduos classe II A (ou seja, resíduos não inertes) conforme a NBR 10004/2004 (ABNT, 2004), pois, os parâmetros: índice de fenóis, conteúdo de Fe, Mn, Se, sulfatos e surfactantes (fração solubilizado) ultrapassam os limites máximos permitidos. Esta classe de resíduos inclui aqueles que não se

enquadram nas classificações de resíduos classe I - perigosos ou de resíduos classe II B - inertes, nos termos da NBR 10004/2004 e podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

4.3.4 Resíduos do beneficiamento de arroz

O processo de beneficiamento do arroz gera vários resíduos, dentre os quais podemos destacar a casca do arroz propriamente dita (gerada no descascamento), os resíduos das peneiras (os quais são compostos por grãos falhados, sementes de plantas invasoras, resíduos da palhada que não foi separada do grão no momento da colheita) e o amido (gerado no polimento).

A casca de arroz representa 22% do peso do grão, constitui um resíduo oriundo do beneficiamento do cereal, representa um grande problema, levando em consideração a produção brasileira que é de aproximadamente 13 milhões de toneladas/ano. É um dos mais abundantes resíduos agroindustriais, composto de material fibroso, basicamente de celulose, lignina e resíduo orgânico. Apresenta elevado volume e baixa densidade (em torno de 130 kg m^{-3}), resultando num grande volume para a sua disposição. Gera grande quantidade de metano (CH_4) e devido a sua lenta biodegradação que pode levar até cinco anos (DELLA, 2005), permanece inalterada por longos períodos, gerando danos ao ambiente (MAYER, 2006). Outro uso da casca do arroz é a queima para aquecimento da água utilizada no processo de parboilização do arroz e as cinzas resultantes são depositadas a céu aberto e ou incorporadas aos solos agrícolas.

Dados de 2011 davam conta que em Santa Catarina existem 54 indústrias de beneficiamento de arroz associadas ao Sindicato do Arroz de Santa Catarina (AMATO, 2007) e 16 pequenos engenhos não associados, que funcionam apenas nos meses de safra. A capacidade de beneficiamento do Estado é de 1,4 milhões de toneladas de arroz em casca, das quais um milhão é produzido no estado de Santa Catarina e 400 mil toneladas são adquiridas principalmente do estado do Rio Grande do Sul (EPAGRI, 2011).

A área de cultivo do arroz na safra 2012/13 da região Sul do Brasil é de 1.249,7 mil hectares, com uma produtividade de 7.398kg/ha com variação de 2% e uma produção de 9.245,1 mil ton. com variação de 2,9% (CONAB, 2011).

Segundo informações da empresa fornecedora dos resíduos utilizados neste experimento (resíduos das peneiras), para cada 10 toneladas de arroz bruto são geradas entorno de quatro toneladas de resíduos. Este valor é variável em função da qualidade do arroz produzido. Pelo fato de os resíduos das peneiras conterem uma quantidade relativamente elevada de matéria orgânica (que pode variar de acordo com a qualidade da cultura), entram em decomposição mais rápido do que as cascas e formam um ótimo insumo para incorporação aos solos agrícolas de baixa fertilidade. Como desvantagem, carregam consigo grande quantidade de sementes de espécies invasoras, que podem inviabilizar as culturas.

Para áreas degradadas pela mineração do carvão, este resíduo vem a ser um grande aliado, pois além fornecer matéria orgânica, pode atuar como banco de sementes, como já foi observado no experimento em questão, sua composição é rica em nutrientes, que são imprescindíveis para o desenvolvimento da cobertura vegetal das fases pioneiras do novo solo construído nas áreas em processo de recuperação. De acordo com informações da divisão de produção da Empresa fornecedora dos resíduos, o refugo das peneiras não é utilizado para queima, pois é de difícil combustão, gera materiais particulados, colóides e gases e não produz a quantidade de calor necessário para a parboilização.

4.3.5 Turfa

A turfa é uma substância fóssil, orgânica e mineral, formada a partir da decomposição de restos vegetais, encontrada em áreas alagadiças como várzeas de rios, planícies costeiras e regiões lacustres (FRANCHI et al., 2003). É um recurso natural não renovável (GROLI, 1991).

As vantagens do uso da turfa para a construção de solos e para a melhoria da qualidade dos solos agrícolas vão desde a melhora das características físicas, como a redução da densidade e capacidade de retenção de água (GROLI, 1991), até a correção das características químicas do solo, como a alterações na alcalinidade e na salinidade (BACKES; KAMPF, 1991). Em geral contém 90% de água e quando seca ao ar livre, esse valor se reduz em média para 40% (MORAES, 2001). Do peso total do material seco citado anteriormente, cerca de 70% é matéria orgânica, podendo ser mais ou menos fibrosa, dependendo da decomposição da matéria base (CANTHÉ, 2011).

Além das propriedades físicas e químicas acima citadas, a turfa atua ainda como banco de sementes na reabilitação de áreas degradadas pela mineração do carvão, pois, durante o processo de extração, a camada superficial do leito turfoso, recebe a cobertura da lâmina da água, o que acaba por trazer uma grande quantidade de sementes das plantas que se encontram nos banhados instalados sobre ou próximo às turfeiras. Esta turfa é denominada de turfa ecológica ou turfa de raspagem e tem sido utilizada como banco de sementes em projetos de reabilitação de áreas degradadas na Bacia Carbonífera Catarinense (ZIMMERMANN, 2001).

4.4 PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

4.4.1 Avaliação química dos materiais utilizados na composição dos tratamentos

Foram coletadas 10 sub-amostras de cada material utilizado para a construção dos solos (solo do horizonte subsuperficial, solo do horizonte superficial, gesso químico, resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e resíduos da agroindústria avícola), as quais foram homogeneizadas, quarteadas e re-quarteadas, de modo a formar cinco amostras compostas por tipo de material.

Uma das cinco amostras compostas de cada material foi submetida ao ataque a frio de solução 0,1 N de HNO_3 (p.a) conforme (KOTZ et al., 1972), modificado por Porto (1981), para a determinação do conteúdo extraível de elementos químicos, efetuada através de análise de varredura para os elementos: Alumínio, Antimônio, bário, Boro, Cadmio, Cálcio, Chumbo, Cobalto, Cobre, Cromo, Estanho, Ferro, Lítio, Magnésio, Manganês, Molibdênio, Níquel, Potássio, Selênio, Sódio, Vanádio e Zinco por meio de ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry*).

Os resultados obtidos nestas análises foram comparados com Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), a qual dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas, assim como, com os dados constantes em Allen et al.(1974).

4.4.2 Avaliação dos conteúdos de N, P, CO e S nos materiais utilizados na composição dos tratamentos

As quatro amostras compostas restantes de cada um dos materiais: gesso químico, resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e resíduos da agroindústria avícola foram re-homogeneizadas (de modo a formar uma única amostra por material) que foi submetida a análises químicas para determinar o conteúdo de nitrogênio - N (total), fósforo - P (extraível), carbono orgânico - CO (total) e enxofre - S (extraível). Estas análises têm por objetivo verificar a contribuição de cada um dos materiais, no tempo zero (abril de 2011), na determinação das características físicas e químicas do solo construído nos diferentes experimentos.

O conteúdo de carbono orgânico total (expresso em % m/m) foi determinado pelo método Titulométrico – Oxid.c/ $K_2Cr_2O_7$, de acordo com IN. Nº 28, de 27/07/2007 - Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-minerais e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

O conteúdo de enxofre extraível foi determinado pelo método Turbidimétrico (APHA, 1998), utilizando como solução extratora $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot 2H_2O$.

O conteúdo de fósforo extraível foi determinado por meio do método Colorimétrico – Ácido Ascórbico (SNELL; SNELL, 1959), utilizando como solução extratora ácida (HCl 0,05M + H_2SO_4 0,0125M).

O nitrogênio total foi determinado pelo método Titulométrico – Liga de Raney, de acordo com IN. Nº 28, de 27/07/2007 - Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes Minerais, Orgânicos, Organo-Minerais e Corretivos do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

4.4.3 Avaliação da fertilidade dos solos construídos

Foram coletadas quatro amostras de solo na profundidade de 0 a 30 cm de cada parcela de cada tratamento em cada bloco (resultando em 16 amostras por tratamento), exceto as do tratamento I (quatro amostras x cinco tratamentos x quatro blocos), no tempo zero (abril de 2011) para análise química de fertilidade. Essas análises foram repetidas nos tempos seis (setembro de 2011) e doze meses (março de 2012) após a

instalação dos experimentos, a fim de verificar se ocorreram variações nas características de fertilidade do solo.

A análise de fertilidade seguiu os procedimentos contidos em Tedesco et al. (1995). Os resultados foram comparados com aqueles contidos na bibliografia especializada como Malavolta (1980), Rajj (1983), Jorge (1985), Tedesco et al. (1995), Fageria (2004), Oliveira et al. (2005), entre outros.

4.4.4 Análises estatísticas

Os valores dos parâmetros de fertilidade do solo construído, nos tempos (zero, seis e 12 meses) foram submetidos à análise de variância uma via (ANOVA I). As diferenças entre as médias de dois ou mais tratamentos, foram testadas quanto à significância estatística por meio do teste de Tukey ao nível de 5% e intervalo de confiança de 95%, conforme recomendações contidas em Zar (2010).

5 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O conteúdo trocável (mg kg^{-1}) de elementos químicos em cada material utilizado para a composição dos tratamentos encontram-se na tabela 1. Observa-se que no gesso químico, nos resíduos da agroindústria avícola e, nos resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz os valores de Ca extraível (30494, 18728 e 2473 mg kg^{-1} , respectivamente) ultrapassam os valores médios mundiais para solos agrícolas segundo Allen, et al. (1974), que é de 100 – 2000 mg kg^{-1} . Situação similar ocorreu nos resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz em relação ao Fe, Mg, Mn, K e Zn cujos valores extraíveis foram de 1511, 1584, 708 e 227 mg kg^{-1} , respectivamente, enquanto que os valores de referências indicados pela literatura consultada são, respectivamente, de 50 – 1000, 40 – 500, 5 – 500, 50 – 500 e, 1 – 40 mg kg^{-1} . Os elementos Al e Zn apresentaram-se acima dos limites de normalidade nos resíduos da agroindústria avícola e, cujos valores detectados foram respectivamente de 2880 e 394 mg kg^{-1} . O elemento Al apresentou-se acima dos limites considerados normais no solo do horizonte superficial.

Os resultados mostram ainda que os valores mais elevados de Al foram detectados na seguinte ordem: RAA (2880 mg kg^{-1}) > SHS (2524 mg kg^{-1}) > SHSs (1416 mg kg^{-1}) > RPBA (516 mg kg^{-1}); os valores mais elevados de Ca foram detectados em GQ (30494 mg kg^{-1}) > RAA (18728 mg kg^{-1}) > RPBA (2473 mg kg^{-1}); os valores mais elevados de Cu foram detectados em RAA (3,58 mg kg^{-1}) > SHS (3,48 mg kg^{-1}) > SHSs (3,36 mg kg^{-1}); os valores mais elevados de Fe foram detectados em RPBA (1511 mg kg^{-1}) > SHS (459 mg kg^{-1}) > RAA (134 mg kg^{-1}) > SHSs (121 mg kg^{-1}) e; os valores mais elevados de Zn foram detectados em RAA (394 mg kg^{-1}) > RPBA (227 mg kg^{-1}).

Tabela 1 - Conteúdo trocável (mg kg^{-1}) dos elementos químicos em cada material utilizado para a composição dos tratamentos (abril/2011). Onde: SHSs = solo do horizonte subsuperficial, SHS = solo do horizonte superficial, GQ = gesso químico, RAA = resíduos da agroindústria avícola, RPBA = resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz, VRQs = valores orientadores de referência de qualidade de solo (mg kg^{-1}) segundo Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009) e, MMS = médias mundiais (mg kg^{-1}) segundo Allen et al. (1974), exceto quando indicado pelo *.

Elementos	Materiais Utilizados					VRQs (mg kg^{-1})	MMS
	SHSs	SHS	GQ	RAA	RPBA		
Alumínio	1416	2524	31,9	2880	516		100 – 2000
Antimônio	0	0,086	0	0,089	0,049	5	< 5
Bário	35,4	13,8	0,559	15,4	93,9	300	500*
Boro	0	0	0,15	0	0		0,2 – 5
Cádmio	0,02	0	0,02	0,139	0	3	0,03 – 0,3
Cálcio	406	102	30494	18728	2473		100 – 2000
Chumbo	4,84	3,69	0	0	2,58	180	2 – 20*
Cobalto	0,186	0,333	0	0,119	0,383	35	0,05 – 4
Cobre	3,36	3,48	0	3,58	0,599	200	0,1 – 3
Cromo	0,117	0,629	0	0,516	0,255	150	10 – 200
Estanho	0	0,067	0,03	0,05	0		10*
Ferro	121	459	1,22	134	1511		50 – 1000
Lítio	0,117	0,143	0,549	0	0,059		1 – 50
Magnésio	73,9	43,8	218	385	1584		40 – 500
Manganês	19,4	17,7	0,04	80	708		5 – 500
Molibdênio	0,02	0	0,02	0,05	0	50	0,01 – 0,2
Níquel	0,166	0,21	0	1,61	0,589	70	40*
Potássio	40,5	41	314	435	1955		50 – 500
Selênio	0	0	0	0,099	0	5	0,5*
Sódio	34,8	12,3	171	144	57,2		20 – 200
Vanádio	4,62	2,94	0	0,288	1,66		100*
Zinco	2,29	1,48	0,03	394	227	450	1 – 40

Fonte: Da Autora, 2013.

*Dados obtidos em Andrews-Jones (1968 apud BROOKS, 1972, 1983).

5.2 CONTEÚDOS DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (C) E ENXOFRE (S) DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O conteúdo de nitrogênio (total), fósforo (trocável), carbono orgânico (total) e enxofre (trocável) dos materiais utilizados para a composição dos tratamentos encontram-se dispostos na tabela 2.

Os resíduos da agroindústria avícola são a maior fonte de carbono orgânico e nitrogênio, enquanto que o solo do horizonte superficial e do horizonte subsuperficial são as maiores fontes de fósforo para o novo solo construído nos respectivos tratamentos.

Tabela 2 - Conteúdo de nitrogênio total (%), fósforo extraível (%), carbono orgânico total (%) e enxofre extraível (%) dos materiais utilizados na composição dos tratamentos (abril/2011).

Materiais	Conteúdo dos Elementos (%)			
	N	P	C	S
Solo do Horizonte Subsuperficial	-	5,48	5,33	-
Solo do Horizonte Superficial	-	5,48	5,33	-
Gesso químico	n.d.	n.d.	0,05	0,7
Resíduos da agroindústria avícola	4,2	0,1	46,5	0,17
Resíduos das peneiras do benefíc. de arroz	0,8	0,5	19,2	0,02

Fonte: Da autora, 2013.

n.d = Não detectado

- = Não analisado

5.3 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) NA INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO ZERO)

Os valores médios (\pm o desvio padrão) dos parâmetros de fertilidade de cada tratamento, avaliados na instalação dos experimentos (tempo zero) são apresentados na tabela 3.

Observa-se que o tratamento II diferiu estatisticamente de todos os demais em relação a maior parte dos parâmetros analisados, exceto nos casos do fósforo e do magnésio, que não diferiram dos tratamentos III, IV e V e, da matéria orgânica, que não diferiu dos tratamentos III e IV.

Os tratamentos III, IV, V e VI, não diferiram entre si, em relação à textura, aos teores de alumínio e cálcio, a soma de bases, a CTC e a

saturação de bases, no entanto, os tratamentos III e IV diferiram dos tratamentos V e VI em relação ao pH, potássio, matéria orgânica e sódio. Os tratamentos III e IV não diferiram entre si em relação aos parâmetros analisados, enquanto que os tratamentos V e VI diferiram entre si, apenas em relação aos teores de fósforo, potássio, magnésio e sódio.

No que diz respeito aos valores mínimos e máximos detectados, se observa que a textura e o teor do alumínio foram mais elevados no tratamento II, enquanto que o pH, potássio, cálcio, magnésio, sódio, soma de bases, CTC e saturação de bases, os mais baixos. Os valores de pH, cálcio, soma de bases, CTC e de saturação de bases foram mais elevados no tratamento III, enquanto que o fósforo e o magnésio no tratamento VI e, o potássio matéria orgânica, e sódio no tratamento V.

Tabela 3 - Valores médios \pm desvio padrão ($n = 4$) dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, analisados na instalação do experimento (tempo zero meses - abril/2011), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).

Parâmetros	Tratamentos				
	II	III	IV	V	VI
Textura (% de argila)	40,06 \pm 2,04 ^a	5,94 \pm 0,77 ^b	5,75 \pm 0,94 ^b	6,00 \pm 0,51 ^b	5,88 \pm 0,34 ^b
pH	4,68 \pm 0,13 ^a	9,30 \pm 0,30 ^b	8,89 \pm 0,40 ^b	7,63 \pm 0,87 ^c	7,60 \pm 0,14 ^c
Fósforo (mg L ⁻¹)	5,48 \pm 1,81 ^a	2,26 \pm 0,62 ^{a,b}	3,86 \pm 2,14 ^{a,b,c}	7,93 \pm 6,11 ^{a,c}	40,96 \pm 11,96 ^d
Potássio (mg L ⁻¹)	31,81 \pm 3,41 ^a	75,56 \pm 28,58 ^b	65,69 \pm 11,60 ^b	167,69 \pm 27 ^c	130,81 \pm 17,02 ^d
Matéria Orgânica (%)	5,33 \pm 2,0 ^a	5,68 \pm 2,93 ^a	4,50 \pm 2,93 ^a	8,22 \pm 1,93 ^b	8,16 \pm 1,79 ^b
Alumínio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	3,68 \pm 1,07 ^a	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b
Cálcio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	5,54 \pm 3,27 ^a	136,86 \pm 47,08 ^b	107,63 \pm 39,95 ^b	131,11 \pm 30,77 ^b	114,44 \pm 29,49 ^b
Magnésio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	1,77 \pm 0,63 ^a	4,70 \pm 10,75 ^{a,b}	4,23 \pm 9,95 ^{a,b}	2,18 \pm 3,47 ^a	10,77 \pm 5,61 ^b
Sódio _{Troc.} (mg L ⁻¹)	8,94 \pm 2,54 ^a	26,19 \pm 5,61 ^b	22,63 \pm 3,46 ^{c,b}	34,75 \pm 5,54 ^d	27,63 \pm 4,47 ^{e,b}
Soma de Bases (cmol _c L ⁻¹)	6,98 \pm 2,07 ^a	149,20 \pm 59,38 ^b	119,39 \pm 53,20 ^b	139,25 \pm 34,68 ^b	121,73 \pm 31,78 ^b
CTC (cmol _c L ⁻¹)	35,68 \pm 17,84 ^a	149,35 \pm 59,41 ^b	119,69 \pm 53,29 ^b	140,07 \pm 34,76 ^b	122,86 \pm 31,37 ^b
Saturação de Bases (%)	28,24 \pm 19,14 ^a	99,89 \pm 0,03 ^b	99,74 \pm 0,11 ^b	99,39 \pm 0,15 ^b	98,90 \pm 1,30 ^b

Fonte: Da autora, 2013.

Letras iguais na mesma linha indicam que os tratamentos não diferiram estatisticamente ao nível de 95% .

5.4 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) SEIS MESES APÓS A INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO SEIS MESES)

Os valores médios (\pm o desvio padrão) dos parâmetros de fertilidade de cada tratamento, avaliados seis meses após a instalação dos experimentos (tempo seis meses) são apresentados na tabela 4. A análise desta tabela revela que em linhas gerais, os parâmetros de fertilidade seguiram o padrão observado no tempo zero, com pequenas variações.

O tratamento II seguiu a mesma tendência observada no tempo zero, uma vez que diferiu estatisticamente dos demais na maior parte dos parâmetros analisados, exceto nos casos do potássio e da matéria orgânica (que não diferiram do tratamento III) e, do magnésio (que não diferiu em relação aos tratamentos III e IV).

Os tratamentos III, IV, V e VI, não diferiram entre si, em relação à textura, aos teores de fósforo, alumínio, e a saturação de bases. O tratamento III diferiu do tratamento IV em relação ao pH, ao potássio, a soma de bases e a CTC e, em relação aos tratamentos V e VI, além destes parâmetros, ainda em relação à matéria orgânica, ao cálcio, ao magnésio e ao sódio. O tratamento IV diferiu dos tratamentos V e VI em relação ao pH, potássio, matéria orgânica, magnésio e sódio, enquanto que, os tratamentos V e VI diferiram entre si apenas em relação ao teor de sódio.

No que diz respeito aos valores mínimos e máximos detectados, se observa que a textura, o teor do fósforo, alumínio foram mais elevados no tratamento II, enquanto que o pH, potássio, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC e saturação de bases, os mais baixos. Os valores de pH, cálcio, soma de bases, CTC e de saturação de bases foram mais elevados no tratamento III, enquanto que o potássio, matéria orgânica, magnésio e sódio no tratamento V.

Tabela 4 - Valores médios (\pm o desvio padrão) dos parâmetros de fertilidade de cada tratamento, avaliados seis meses após a instalação dos experimentos (tempo seis meses), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).

Parâmetros	Tratamentos				
	II	III	IV	V	VI
Textura (% de argila)	43,37 \pm 5,0 ^a	5,31 \pm 0,70 ^b	5,25 \pm 1,52 ^b	5,44 \pm 0,72 ^b	5,81 \pm 1,32 ^b
pH	4,54 \pm 0,15 ^a	9,05 \pm 0,48 ^b	8,51 \pm 0,53 ^c	7,47 \pm 0,31 ^d	7,57 \pm 0,13 ^d
Fósforo (mg L ⁻¹)	3,79 \pm 0,95 ^a	0,89 \pm 0,36 ^b	0,88 \pm 0,31 ^b	1,09 \pm 0,68 ^b	1,41 \pm 0,30 ^b
Potássio (mg L ⁻¹)	24,88 \pm 8,57 ^a	25,19 \pm 10,65 ^a	46,25 \pm 15,46 ^b	91,69 \pm 17,27 ^c	79,75 \pm 19,30 ^c
Matéria Orgânica (%)	4,22 \pm 1,44 ^a	3,72 \pm 2,19 ^{a,b}	2,35 \pm 1,00 ^b	8,86 \pm 1,53 ^c	7,19 \pm 1,95 ^c
Alumínio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	4,72 \pm 0,56 ^a	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b	0,00 \pm 0,00 ^b
Cálcio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	4,86 \pm 2,46 ^a	137,52 \pm 11,61 ^b	124,04 \pm 10,86 ^{b,c}	113,65 \pm 30,62 ^c	110,79 \pm 18,99 ^c
Magnésio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	0,56 \pm 0,08 ^a	0,69 \pm 0,55 ^a	0,67 \pm 0,28 ^a	1,06 \pm 0,20 ^b	1,04 \pm 0,27 ^b
Sódio _{Troc.} (mg L ⁻¹)	8,81 \pm 1,27 ^a	15,06 \pm 2,64 ^b	17 \pm 2,39 ^b	25,19 \pm 2,99 ^c	22,75 \pm 2,54 ^d
Soma de Bases (cmol _c L ⁻¹)	5,52 \pm 2,44 ^a	138,41 \pm 11,86 ^b	124,9 \pm 10,74 ^c	121,31 \pm 14,35 ^c	112,14 \pm 19,05 ^c
CTC (cmol _c L ⁻¹)	31,68 \pm 5,84 ^a	138,6 \pm 11,91 ^b	125,36 \pm 10,63 ^c	122,36 \pm 14,38 ^c	113,08 \pm 18,96 ^c
Saturação de Bases (%)	18,89 \pm 10,04 ^a	99,83 \pm 0,12 ^b	99,62 \pm 0,23 ^b	99,13 \pm 0,31 ^b	99,13 \pm 0,24 ^b

Fonte: Da autora, 2013.

Letras iguais na mesma linha indicam que os tratamentos não diferiram estatisticamente ao nível de 95%.

5.5 FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) DOZE MESES APÓS A INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS (TEMPO DOZE MESES)

Os valores médios (\pm o desvio padrão) dos parâmetros de fertilidade de cada tratamento, analisados 12 meses após a instalação dos experimentos (tempo doze meses) são apresentados na tabela 5. A análise desta tabela revela que em linhas gerais, os parâmetros de fertilidade seguiram o padrão observado nos tempos zero e seis, com algumas variações.

O tratamento II manteve a mesma tendência observada nos tempos zero e seis meses, uma vez que diferiu estatisticamente dos demais na maior parte dos parâmetros analisados, exceto no caso do fósforo (que não diferiu dos tratamentos III e IV), potássio e sódio (que não diferiram do tratamento III) e, magnésio (que não diferiu em relação ao tratamento VI).

Os tratamentos III, IV, V e VI, não diferiram entre si, em relação à textura, alumínio e a saturação de bases. O tratamento III diferiu do tratamento IV em relação ao potássio, ao cálcio, a soma de bases e a CTC e, em relação aos tratamentos V e VI, além destes parâmetros, ainda em relação ao pH, ao fósforo, à matéria orgânica, ao sódio e ao magnésio (este último, apenas em relação ao tratamento VI). O tratamento IV diferiu dos tratamentos V em relação ao fósforo, potássio, matéria orgânica e sódio e, em relação ao tratamento VI, além destes, ainda em relação ao cálcio, magnésio, a soma de bases e a CTC. Os tratamentos V e VI diferiram entre si apenas em relação aos teores de fósforo e sódio.

No que tange aos valores mínimos e máximos detectados, se observa que a textura e o teor de alumínio foram mais elevados no tratamento II, enquanto que o pH, cálcio, magnésio, sódio, soma de bases, CTC e saturação de bases, os mais baixos. Os valores de pH, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC e de saturação de bases foram mais elevados no tratamento III, enquanto que o potássio, matéria orgânica e sódio no tratamento V.

Tabela 5 - Valores médios \pm desvio padrão ($n = 4$) dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, analisados doze meses após a instalação do experimento (tempo doze meses – março/2012), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola) e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial).

Parâmetros	Tratamentos				
	II	III	IV	V	VI
Textura (% de argila)	30,31 \pm 4,42 ^a	8,63 \pm 3,03 ^b	7,88 \pm 1,20 ^b	7,44 \pm 0,63 ^b	7,44 \pm 0,62 ^b
pH	4,71 \pm 0,18 ^a	8,14 \pm 0,73 ^b	7,78 \pm 0,48 ^{b,c}	7,56 \pm 0,26 ^c	7,48 \pm 0,20 ^c
Fósforo (mg L ⁻¹)	2,49 \pm 1,21 ^a	0,48 \pm 0,40 ^a	1,42 \pm 1,64 ^a	12,53 \pm 6,46 ^b	40,43 \pm 12,62 ^c
Potássio (mg L ⁻¹)	27,69 \pm 3,44 ^a	25,44 \pm 3,81 ^a	44,44 \pm 6,38 ^b	96,25 \pm 19,61 ^c	84,44 \pm 25,80 ^c
Matéria Orgânica (%)	4,06 \pm 1,86 ^a	0,9 \pm 0,26 ^b	1,76 \pm 0,48 ^b	6,25 \pm 1,41 ^c	6,13 \pm 1,27 ^c
Alumínio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	4,35 \pm 0,72 ^a	0,23 \pm 0,13 ^b	0,3 \pm 0,00 ^b	0,3 \pm 0,00 ^b	0,3 \pm 0,00 ^b
Cálcio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	3,81 \pm 2,03 ^a	184,53 \pm 9,9 ^b	117,29 \pm 20,99 ^c	104,38 \pm 16,45 ^{c,d}	92,33 \pm 22,77 ^d
Magnésio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹)	0,32 \pm 0,09 ^a	1,04 \pm 0,5 ^b	0,90 \pm 0,25 ^{b,c}	0,65 \pm 0,27 ^{c,d}	0,45 \pm 0,16 ^{a,d}
Sódio _{Troc.} (mg L ⁻¹)	8,31 \pm 1,01 ^a	12,69 \pm 1,3 ^{a,b}	19,56 \pm 3,46 ^b	53,69 \pm 12,52 ^c	42,75 \pm 15,14 ^d
Soma de Bases (cmol _c L ⁻¹)	4,24 \pm 2,02 ^a	185,69 \pm 10,08 ^b	118,41 \pm 20,91 ^c	105,78 \pm 16,79 ^{c,d}	93,21 \pm 22,92 ^d
CTC (cmol _c L ⁻¹)	24,45 \pm 3,59 ^a	186,13 \pm 10,16 ^b	119,14 \pm 20,83 ^c	106,65 \pm 16,84 ^{c,d}	94,14 \pm 22,90 ^d
Saturação de Bases (%)	18,24 \pm 9,74 ^a	99,76 \pm 0,09 ^b	99,36 \pm 0,22 ^b	99,17 \pm 0,17 ^b	98,97 \pm 0,25 ^b

Fonte: Da autora, 2013.

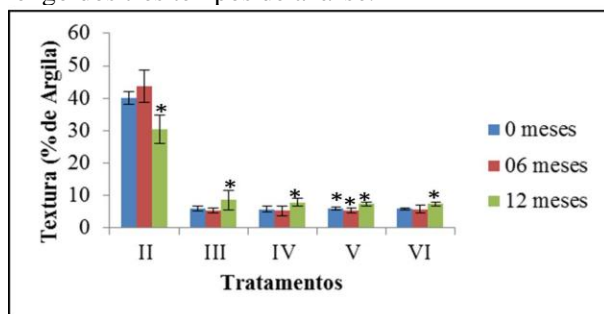
Letras iguais na mesma linha indicam que os tratamentos não diferiram estatisticamente ao nível de 95% .

5.6 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) AO LONGO DOS TRÊS TEMPOS DE ANÁLISE (ZERO, SEIS E DOZE MESES)

O comportamento dos parâmetros de fertilidade nos tempos zero (abril/2011), seis (setembro/2011) e doze meses (março/2012), dos solos construídos estão esboçados nas figuras 5 a 16.

Em relação à textura (Figura 5) verificou-se que o teor de argila variou de 43 a 30% no tratamento II e nos demais de 8 a 5% independente dos tempos de análise. Verificou-se também que houve diferença significativa, no tratamento V em todos os três tempos analisados, enquanto que nos demais tratamentos, apenas no tempo 12 meses.

Figura 5 - Variação na textura dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



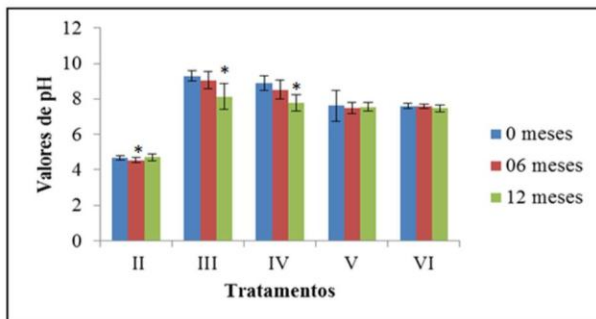
Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

No que se refere ao pH (Figura 6), no tratamento II variou de 4,54 a 4,71 (nos três tempos analisados), enquanto que nos demais variou de 9,30 a 7,47. Foi verificada ainda, diferença significativa apenas nos tratamentos II no tempo seis e nos tratamentos III e IV no tempo 12 meses.

O comportamento do fósforo trocável (Figura 7) nos mostra que as diferenças foram significativas no tratamento II nos três tempos analisados (cujo valor máximo foi de $5,4 \text{ mg L}^{-1}$), nos tratamentos III e IV apenas no tempo zero (onde os valores variaram de $3,86$ a $0,87 \text{ mg L}^{-1}$) e nos tratamentos V e VI no tempo seis (cujos valores variaram de 1 a 31 mg L^{-1}), evidenciando um aumento significativo no tratamento VI.

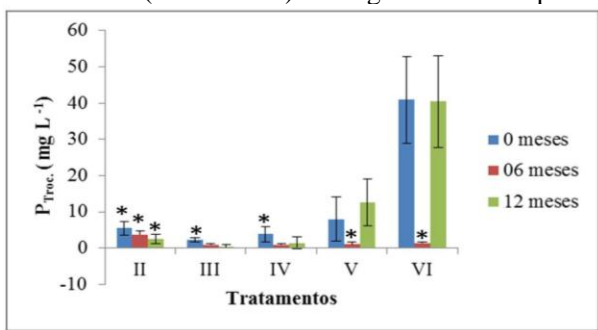
Figura 6 - Variação no potencial hidrogeniônico (pH) dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

Figura 7 - Variação no conteúdo de fósforo trocável dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

* indica diferença significativa (5%).

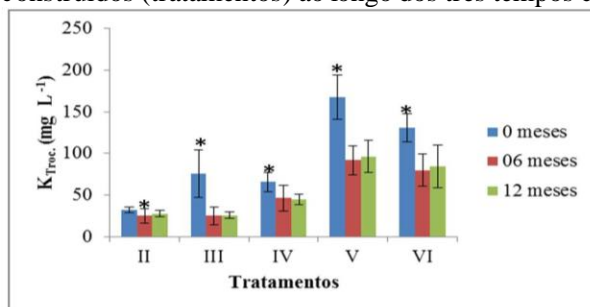
O elemento potássio (Figura 8) variou significativamente no tratamento II (24, 27 a 31,81 mg L⁻¹) no tempo seis e os demais tratamentos apenas no tempo zero, cuja variação foi de 167 a 25 mg L⁻¹.

No que se refere à matéria orgânica (Figura 9) observou-se que houve uma ligeira diminuição no teor deste componente em todos os tratamentos em relação aos tempos de análise, no entanto, foi verificada diferença significativa apenas nos tratamentos III, IV e VI no tempo 12 meses e no tratamento IV no tempo zero.

Os teores de alumínio trocável (Figura 10) variaram de 4,72 a 3,68 cmol_cL⁻¹ apenas no tratamento II, evidenciando aumento

significativo no tempo seis meses, voltando no tempo 12 meses a se igualar aos conteúdos observados na instalação dos experimentos. Nos demais tratamentos os valores foram muito baixos (variando de zero a $0,3 \text{ cmol}_c\text{L}^{-1}$).

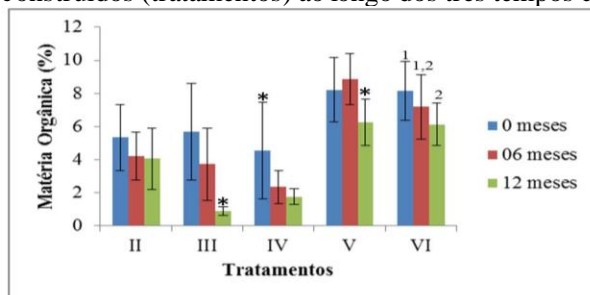
Figura 8 - Variação no conteúdo de potássio trocável dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

Figura 9 - Variação no conteúdo de matéria orgânica dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

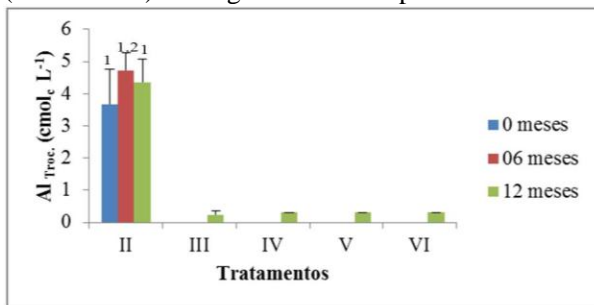
*Indica diferença significativa (5%).

No tratamento VI, os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

O elemento cálcio (Figura 11) por sua evidenciou aumento na disponibilidade com o passar do tempo (de 136 a $184 \text{ cmol}_c\text{L}^{-1}$), mostrando diferença significativa no tratamento III (no tempo 12 meses). Nos tratamentos V e VI foram observadas diferenças significativas nos tempos zero e 12 meses, sendo que nestes dois últimos

tratamentos, os teores baixaram significativamente do tempo zero para o tempo 12 meses (de 131 para 92 $\text{cmol}_e\text{L}^{-1}$).

Figura 10 - Variação no conteúdo de alumínio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.

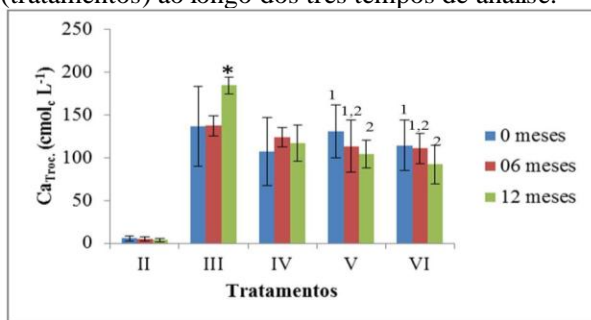


Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

No tratamento II, os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

Figura 11 - Variação no conteúdo de cálcio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



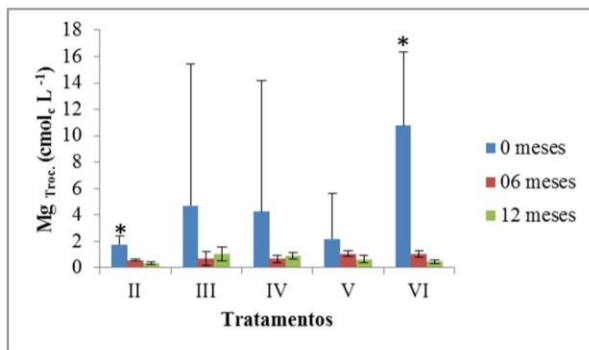
Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

Nos tratamentos V e VI, os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

O magnésio (Figura 12) evidenciou diminuição abrupta na disponibilidade ao longo do tempo em todos os tratamentos, cujas diferenças foram significativas nos tratamentos II e VI no tempo zero. Os respectivos valores variaram de 3,81 a 0,32 $\text{cmol}_e\text{L}^{-1}$ (no tratamento II) e de 10,77 a 0,45 $\text{cmol}_e\text{L}^{-1}$ (no tratamento VI).

Figura 12 - Variação no conteúdo de magnésio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.

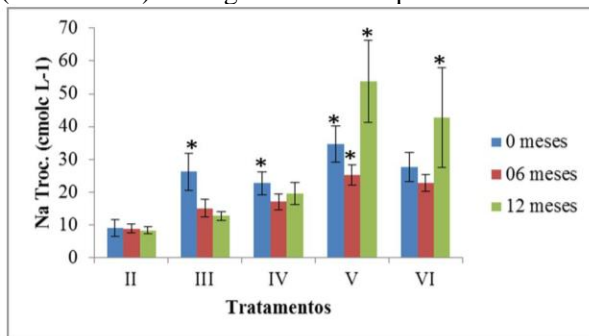


Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

Quanto ao sódio (Figura 13) verificou-se que houve tendência a diminuição em todos os tratamentos ao longo dos três tempos de análise, exceto nos tratamentos V e VI, nos quais houve aumento no tempo 12 meses. As diferenças observadas evidenciaram significância nos tratamentos III e IV no tempo zero, enquanto que no tratamento V, a significância se deu nos três tempos de análise e no tratamento VI, apenas no tempo 12. No tratamento III, os valores variaram de 26,19 a 12,69 mg L^{-1} , no tratamento IV variaram de 19,0 a 12,69, no tratamento V, de 53,69 a 25,19 mg L^{-1} e no tratamento VI de 42,75 a 22,75 mg L^{-1} .

Figura 13 - Variação no conteúdo de sódio dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.

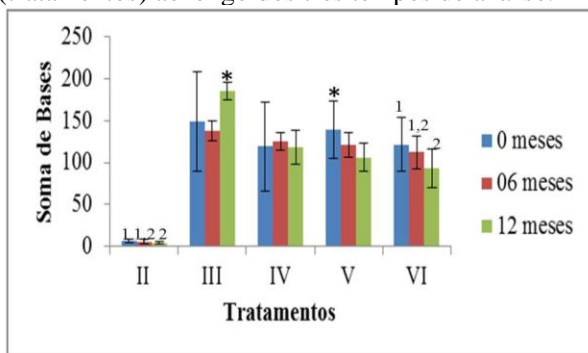


Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

A análise da figura 14, que se refere à variação na soma de bases revelou que os tratamentos II e VI seguiram a mesma tendência, ou seja, houve diferença significativa entre os tratamentos apenas nos tempos zero e 12 meses, enquanto que os tratamentos III e V evidenciaram significância em apenas um tempo de análise (12 e zero respectivamente). Os tratamentos II, V e VI mostraram diminuição gradativa na soma de bases ao longo do tempo de 12,25 para 4,23 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (II), de 139,0 para 105,0 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (V) e de 112 para 93 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (VI), enquanto que o tratamento III evidenciou aumento apenas no tempo 12 meses de 138 para 185 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$.

Figura 14 - Variação na soma de bases dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

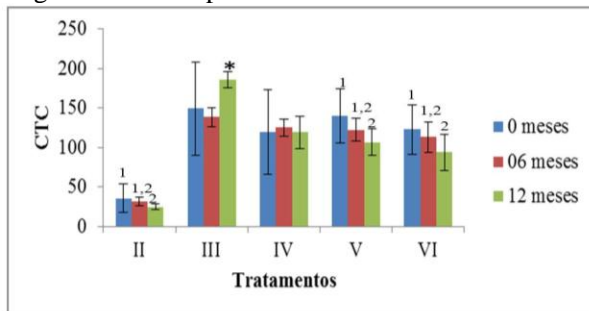
*Indica diferença significativa (5%).

Nos tratamentos II e VI, os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

Em relação à CTC (Figura 15) foi observada diferença significativa nos tratamentos II, V e VI nos tempos zero e 12 meses, apresentando diminuição gradativa ao longo do tempo de 35 para 24 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (II), de 146 para 106 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (V) e de 122 para 94 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$ (VI), enquanto que o tratamento III evidenciou aumento significativo no tempo 12 meses de 138 para 186 $\text{cmol}_\text{c}\text{L}^{-1}$.

No que diz respeito à saturação por bases (Figura 16) foi observado que houve diferença significativa nos tratamentos III (nos tempos zero e 12 meses), no tratamento V no tempo 12 meses e no tratamento V no tempo zero, evidenciando uma diminuição ao longo do tempo de 99,89 para 99,76 % (III), de 99,74 para 99,36% (IV) e de 99,39 para 99,13% (V).

Figura 15 - Variação na CTC dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.

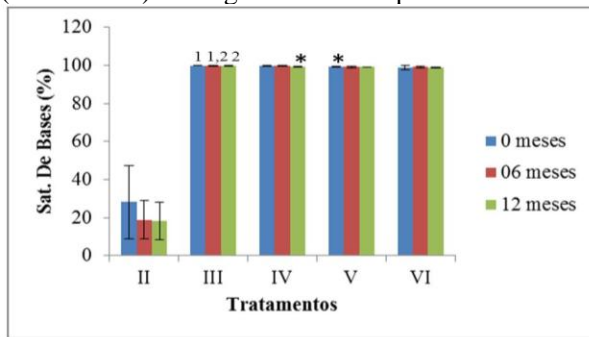


Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

Nos tratamentos II, V e VI, os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

Figura 16 - Variação na saturação por bases dos solos construídos (tratamentos) ao longo dos três tempos de análise.



Fonte: Da autora, 2013.

*Indica diferença significativa (5%).

No tratamento III os números iguais indicam que não houve diferença significativa entre os respectivos tempos de análise.

Os valores médios de cada parâmetro de fertilidade dos solos construídos (tratamentos) avaliados durante os três tempos de análise (zero, seis e doze meses) estão esboçados na tabela 6, assim como, as interpretações de cada um dos parâmetros médios de fertilidade dos solos construídos (tratamentos), de acordo com as fontes indicadas no rodapé.

Tabela 6 - Variação média e interpretação dos parâmetros de fertilidade do solo de cada tratamento, nos três tempos de análise (zero, seis e doze após a instalação do experimento), onde: II = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + solo do horizonte superficial, III = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico, IV = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + gesso químico + solo do horizonte superficial, V = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola e, VI = rejeitos + solo do horizonte subsuperficial + (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial)).

Parâmetros	Tratamentos				
	II	III	IV	V	VI
Textura (% de argila) ^a	37,91	6,63	6,29	6,29	6,38
	Argilosa		Não avaliada		
pH ^b	4,64	8,83	8,39	7,55	7,55
	Muito ácido		Muito alto		
Fósforo (mg L ⁻¹) ^c	3,92	1,21	2,05	7,18	27,60
	Médio	Baixo		Alto	
Potássio (mg L ⁻¹) ^d	28,13	42,06	52,13	118,54	98,33
	Baixo	Bom e baixo	Médio	Muito bom	bom
Matéria Orgânica (%) ^e	4,54	3,43	2,87	7,78	7,16
	Médio a alto	Médio	Baixo	Alto	
Alumínio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹) ^c	4,25	0,08	0,10	0,10	0,10
	Baixo	Muito baixo			
Cálcio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹) ^c	4,74	152,97	116,32	116,38	105,85
	Médio	Altos			
Magnésio _{Troc.} (cmol _c L ⁻¹) ^c	0,88	2,14	1,93	1,30	4,09
	Baixo	Alto	Médio a alto		Alto
Soma de Bases (cmol _c L ⁻¹) ^d	5,58	157,77	120,90	122,11	109,03
	Bom a muito bom		Muito bom		
CTC (cmol _c L ⁻¹) ^e	30,60	158,03	121,40	123,03	110,03
	Mod. Alta a muito alta		Muito alta		
Saturação de Bases (%) ^d	21,79	99,83	99,57	99,23	99,00
	Muito baixa a baixa		Muito bom		

Fonte: Da autora, 2013.

^a Embrapa (1996) ^b Embrapa (2004) ^c SBCS (2004) ^d Alvarez et al. (1999)

^e Fageria (2004)

Embora este não seja um estudo de fertilidade do solo com o objetivo de produzir alimentos, foram utilizados os parâmetros agrícolas

para avaliar o comportamento dos parâmetros de fertilidade dos solos construídos ao longo dos três tempos de análise (Tabela 6), pelo fato de que não existem, pelo menos para o Brasil, parâmetros técnicos ou cientificamente estabelecidos para solos construídos em áreas de mineração de carvão.

5.7 ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE MATERIAIS E DO CUSTO POR HECTARE PARA A RECUPERAÇÃO DO SOLO

As quantidades de materiais e as estimativas de custos por ha de solo construído encontram-se resumidos na tabela 7. Nossos resultados evidenciaram que os tratamentos que apresentaram os melhores resultados foram os tratamentos V (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola na proporção de 33,33% cada) e tratamento VI (gesso químico + resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz + resíduos da agroindústria avícola + solo do horizonte superficial, na proporção de 25% cada).

Considerando-se como ideal a construção de um solo com a espessura do perfil em torno de 0,30 a 0,50 m, teremos então duas situações a serem analisadas, conforme a tabela 7.

Tabela 7 - Estimativas das quantidades de materiais e dos custos para recuperação de 1 hectare de solo construído sobre áreas mineradas de carvão no sul de Santa Catarina, considerando-se as proporções utilizadas no tratamento V.

Profundidade do Perfil	m ³ /ha	Número de cargas de 12 m ³	Custo de frete R\$	Custo do carregamento R\$	Custo Total por hectare
0,50 m	5000	417	52.125,00	28.850,00	72.975,00
0,30 m	3000	250	31.250,00	12.500	43.750,00

Fonte: Da autora, 2013.

Para a construção do solo com perfil do solo de 0,50 m de profundidade, a quantidade total necessária de materiais para um hectare de área degradada é de 5.000 m³ (10000 m² x 0,50 m = 5000m³), se a espessura do perfil descer para 0,30 m de profundidade, então a quantidade total necessária de materiais para um hectare de área degradada é de 3.000 m³ (10000 m² x 0,30 m = 3.000m³) de material.

Deve-se levar em conta, no entanto que ocorre uma perda natural de materiais no processo de manuseio para construção do novo solo. Assim sendo 1m³ de material utilizado não cobriria necessariamente

4m² de área, com uma espessura de 0,25m em função dessa perda. Para ter os valores exatos é necessário definir a densidade dos materiais, a compactação, e a perda no processo.

6 DISCUSSÃO

O solo é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos (SBCS, 2006). Sua formação segue um ciclo evolutivo constituído basicamente de duas fases: gênese e pedogênese. Na gênese ocorrem os processos de intemperização das rochas que formam a matéria bruta da massa de solo e na pedogênese, os processos que promovem a conversão dos materiais intemperizados em solos ordenados e dispostos em camadas que diferem entre si por sua natureza física, química, mineralógica e biológica (POLIVANOV, 2000; SBSC, 2004; EMBRAPA 2009).

Os solos possuem propriedades físicas e químicas, que são adquiridas lentamente à medida que os processos naturais formadores evoluem (GUERRA; BOTELHO, 1996). Em grande parte da superfície terrestre, esses processos são naturais e se desenvolvem em longos períodos de tempo, de centenas de anos a milhões de anos. No entanto, o homem, através de profundas e, muitas vezes, abruptas intervenções no ambiente, tem gerado ao longo dos últimos milhares de anos, em escala crescente, volumes pedológicos com características muito discrepantes dos solos naturais, os chamados “antropossolos” ou “solos construídos”. Esses volumes possuem atributos muito distintos entre si, em função da natureza diversa de seus constituintes, técnicas de composição e tempo de formação, levando a potencialidades e limitações muito variáveis quanto ao uso (EMBRAPA, 2009).

Ainda de acordo com EMBRAPA (2009) os Antropossolos:

[...] compreendem volume formado por várias ou apenas uma camada antrópica, desde que possua 40 cm ou mais de espessura, constituída por material orgânico e/ou inorgânico, e diferentes proporções, formado exclusivamente por intervenção humana, sobrejacente a qualquer horizonte pedogenético, ou saprólitos de rochas, ou rocha não intemperizada. Constituem volumes com morfologia muito variável em razão da natureza dos seus materiais constituintes, técnicas de composição e tempo de formação.

De acordo com a definição acima, o experimento desenvolvido neste estudo, assim como, os solos construídos nos processos de recuperação de áreas degradadas pela mineração na BCC, enquadram-se perfeitamente na definição de solos construídos ou antropossolos.

6.1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os solos contêm elementos traço de várias origens: a) litogênica, os quais são herdados da litosfera (rocha matriz), b) pedogênica, os quais são herdados da rocha matriz, mas são mudados para outras formas devido aos processos formadores do solo e c) antropogênica, que são elementos depositados sobre ou no perfil do solo como resultado das atividades humanas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2011).

Os autores acima citados assinalam ainda que o comportamento de elementos traço no solo e consequentemente sua disponibilidade para as plantas diferem de acordo a fonte de origem (natural ou antropogênica). Destacam também que várias pesquisas indicam que quando são originários de fontes antropogênicas, sua disponibilidade para as plantas é significativamente maior do que quando de origem natural.

Dois termos “contaminação do solo” e “poluição do solo” têm sido definidos de diferentes formas em várias publicações (KABATA-PENDIAS, 2011). Knox et al. (2008) se referem a “contaminação do solo” ao solo cujo estado químico se desvia da composição normal, mas não chega a exercer um efeito negativo sobre os organismos; enquanto que a “poluição do solo” ocorre quando um elemento ou uma substância está presente em uma concentração muito maior do que o seu estado natural (nível basal) como um resultado de atividades humanas e exerce uma rede de efeitos negativos sobre o ambiente e seus componentes.

Sob a perspectiva das plantas, dos animais ou da saúde humana, os solos não são considerados poluídos, a menos que exista uma concentração limiar que comece a afetar os processos biológicos (KABATA-PENDIAS, 2011). Desta forma, as áreas mineradas de carvão, quando são recuperadas por meio da construção de solos de forma ecologicamente sustentável, passam de uma condição de áreas poluídas para áreas contaminadas. Se os processos pedogênicos se mantiverem e os solos construídos propiciarem ao longo do tempo o desenvolvimento e a manutenção das comunidades de microorganismos e das plantas, aí então passará de uma condição de contaminação para uma condição de solos reabilitados ou recuperados.

A presença de um elemento nos tecidos de uma planta não implica necessariamente que ele exerça uma função específica no metabolismo vegetal desta espécie. Ao analisarmos o conteúdo químico de uma planta, provavelmente seja encontrado um número maior de

elementos não essenciais do que de elementos essenciais. Igualmente, é possível que alguns elementos que são tratados como não essenciais, podem futuramente comprovar que tem um papel fundamental no metabolismo vegetal, o qual, atualmente ainda não é bem entendido (BROOKS, 1983).

Os principais elementos nutrientes (macronutrientes, N, P, K, Ca e Mg) são requeridos em grandes quantidades para suprir as necessidades da planta e os elementos-traço (micronutrientes, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B e Cl) são necessários em pequenas quantidades, mas todos são essenciais e não podem ser substituídos por outros. Alguns elementos são designados como benéficos (como o Na, Si e o Co), pois, ou são necessários em apenas para determinado grupo de plantas (LARCHER, 2004).

Dentre os materiais utilizados no presente experimento, o gesso químico, os resíduos da agroindústria avícola e os resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz se mostraram como ótimas fontes de macronutrientes como o cálcio, magnésio, potássio e sódio, para os diferentes solos construídos (tratamentos). Da mesma forma, os resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e os resíduos da agroindústria avícola se mostraram como as maiores fontes de bário, ferro, manganês e zinco.

Os resíduos da agroindústria avícola tem sua contribuição originada dos ossos e das proteínas formadas a partir da ração balanceada administrada aos animais. Ao serem descartados seus resíduos, principalmente o sangue, trazem consigo, além do Ca outros elementos.

Segundo Dias (1992) o gesso pode ser utilizado para correção das camadas subsuperficiais do solo, as quais apresentam alto teor de alumínio trocável (Al^{3+}) e ou baixo teor de Ca^{2+} , ou seja, pode ser utilizado para melhorar o ambiente radical das plantas, funcionando como fonte de Ca e S, além de atuar na correção de solos sódicos. Segundo, Ernani (1986) a mobilidade vertical de cátions ocasionada pelo gesso deve-se a sua maior solubilidade em relação aos calcários, os valores constantes das cargas elétricas e à permanência do ânion sulfato quase que totalmente na solução do solo.

Sousa et al. (2005) assinalam que o ambiente radical da maioria das plantas de culturas anuais tem sido melhorado, respondendo positivamente a aplicação do gesso. Experimentos evidenciam que culturas de milho, trigo e soja expostas à ação de veranicos na época de floração, mas que receberam adição de gesso ao solo produziram 5,5 – 3,5 e 2,4, enquanto que as culturas desenvolvidas sobre solos que não

receberam a adição do gesso produziram em média de 3,2, 2,2 e 2,1 toneladas/ha, respectivamente.

Em geral o gesso químico (CaSO_4) é um subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados, que ocorre em forma similar também em jazidas (SOUSA et al., 2005). Está sendo utilizado, na agricultura, em solos ácidos como um produto complementar ao calcário, com o objetivo de diminuir a toxicidade do Al e aumentar a concentração de Ca em profundidade (ERNANI et al., 1993).

Quando aplicado ao solo, o gesso químico sofre lenta dissolução liberando cálcio e sulfato e após sua dissolução, apresenta rápida mobilidade na camada arável, fixando-se abaixo desta e desta forma, aumenta a permeabilidade do solo e a aeração o que favorece o aprofundamento das raízes. Permite desta forma que as plantas superem épocas de estiagens, utilizando com eficiência os nutrientes disponíveis no solo (DIAS, 1992; SOUSA et al., 2005; BALTAR et al., 2004).

Em solos agrícolas, os valores de pH e Al alteram-se pouco em profundidade, devido à baixa solubilidade dos corretivos agrícolas utilizados, a acidez e à alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes na camada de solo, em que o calcário é incorporado. A baixa mobilidade de Ca e Mg, por outro lado, deve-se à pequena permanência dos ânions adicionados pelo calcário na solução do solo. Sendo assim, a quase totalidade do Ca e do Mg adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al e só uma pequena parte fica na solução do solo (GONZALEZ-ERICO et al., 1979).

O ferro geralmente está presente nos solos em concentrações suficientes para as plantas. Esse nutriente é requerido em pequenas quantidades, de modo que a sua deficiência em plantas é muito rara. O excesso de ferro pode interferir na adsorção de manganês, zinco, cobre, fósforo, cobalto e cálcio (BOMM, 2002). A toxicidade do Fe ocorre com maior frequência em solos cujo pH é muito baixo (BOOM, 2002).

Segundo a Embrapa (2012) o diagnóstico de toxicidade de ferro no arroz irrigado é feito observando os sintomas nas plantas, estas ficam com uma cor laranja-pálido ao alaranjado-escuro. As raízes são poucas, curtas e grossas, geralmente cobertas por uma camada de óxido de ferro de cor avermelhada. Normalmente, os teores de ferro nos solos não ultrapassam 100 mg/kg. A tolerância à toxicidade de ferro aumenta com o incremento da idade das plantas. Em condições controladas, foram encontrados níveis críticos tóxicos de ferro na parte aérea da planta aos 20 e 40 dias de crescimento, de 680 e 850 mg/kg.

O alumínio na forma trivalente tóxica reage com o SO_4^{2-} ,

modificando a espécie iônica do alumínio (atóxica) para as plantas (KORNDÖRFER, 2013), conforme fórmula a seguir:



O gesso químico não corrige a acidez e nem diminui o Al^{+3} trocável do solo, apenas altera a forma iônica do alumínio trivalente para uma forma menos tóxica (KORNDÖRFER, 2013), conforme fórmula a seguir:



Em solos com saturação de potássio acima do normal, pode haver redução na disponibilidade de outros elementos como o cálcio, magnésio, sódio e boro (BOOM, 2002). Assim sendo, a utilização de matérias ricos em potássio para a construção de solos, como no presente estudo, deve ser feita de modo que haja um tamponamento a fim de que não haja interferência ou que pelo menos seja reduzida a interferência sobre a disponibilidade dos demais nutrientes.

O ferro, o manganês e o zinco que em pequenas quantidades são considerados como micronutrientes podem, em concentrações elevadas se comportarem como elementos tóxicos (ABREU, 2002). Foram registrados em valores acima dos limites considerados como normais (médias mundiais) para solos conforme Allen et al. (1974), nos resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz e nos resíduos da agroindústria agrícola (apenas o zinco). Assim sendo, ao utilizarmos esses materiais na construção de solos em áreas de mineração de carvão, com o propósito de recuperarmos as áreas degradadas devemos o fazer com cautela, pois, nestas concentrações podem ser tóxico para as plantas e comprometer os resultados.

Os valores de alumínio apresentaram-se elevados no solo do horizonte superficial e no resíduo da agroindústria avícola, nesses o alumínio encontra-se acima dos valores interpretados como normais (médias mundiais) conforme Allen et al., (1974). Em doses crescentes em solução, tende a reduzir a absorção e o transporte de fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, ferro e manganês para a parte aérea da planta, sugerindo que a redução de cálcio e magnésio deve-se a uma inibição interiônica desses cátions pelo alumínio (SALVADOR et al. 2000). Porém, nas análises de fertilidade o alumínio se mostrou presente somente no tratamento II (composto só de solo) nos demais tratamentos que continham gesso químico na sua composição, não foi detectado nas análises de fertilidades feitas aos zero, seis e doze meses.

A maior fonte de magnésio, dentre os materiais utilizados para a construção dos solos no experimento foram os resíduos das peneiras do beneficiamento do arroz, onde se verificou valores de 1584 mg kg^{-1} . Medeiros et al., (2008) observaram que os teores de magnésio no tecido vegetal decresceram, a medida que aumentou a relação cálcio/magnésio no solo. Isto demonstra que o aumento da absorção de cálcio reduziu a absorção de magnésio, comportamento explicado pelo antagonismo entre estes dois elementos, levando à deficiência de magnésio na parte aérea das plantas de milho.

6.2 CONTEÚDOS DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (C) E ENXOFRE (S) DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA COMPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Os resultados obtidos indicam que os resíduos da agroindústria avícola são a maior fonte de nitrogênio dentre os materiais utilizados. Ainda que estes resíduos tenham sido a maior fonte de nitrogênio, o conteúdo total detectado está abaixo do nível exigido para o desenvolvimento de culturas sobre os novos solos construídos, pois, a recomendação técnica de administração de nitrogênio varia de 20 a 110 kg/ha para culturas de grãos (SBCS, 2004).

O nitrogênio é um elemento muito importante para formação das proteínas nas plantas, pois estimula o crescimento dos talos e folhas (SCHOLL; NIEUWENHUIS, 2003). Em quantidades suficientes deste elemento as plantas crescem satisfatoriamente, sendo que a maior parte do mesmo é absorvida nas primeiras fases de crescimento e é armazenada nos tecidos de crescimento da planta (CANECCCHIO FILHO, 1973).

As formas preferenciais de absorção de N pelas plantas são o amônio (NH_4^+) e o nitrato (NO_3^-). Compostos nitrogenados simples como a ureia (44% de nitrogênio) e alguns aminoácidos, também podem ser absorvidos, mas não são encontrados com facilidade na forma livre no solo (GIANELLO, et al., 1995). O teor de matéria orgânica do solo é utilizado como indicador da disponibilidade de nitrogênio (SBCS, 2004), assim sendo, é de se supor que solos que contenham maiores teores de matéria orgânica, disponibilizem maiores teores de nitrogênio as plantas.

O solo do horizonte superficial e o solo do horizonte subsuperficial são as maiores fontes de fósforo para os novos solos construídos (tratamentos). Este elemento é indispensável para divisão e

para crescimento celular vegetal, contribui no desenvolvimento radicular, comprimento da inflorescência, duração da floração, tamanho da folha e maturação do fruto (LIMA, 2013).

A deficiência de fósforo reduz o crescimento das plantas desde os primeiros estágios de desenvolvimento. As folhas mais velhas adquirem coloração arroxeada, em razão do acúmulo do pigmento antocianina. Em estágios de desenvolvimento mais tardios, as folhas apresentam áreas roxo-amarronzadas que evoluem para necroses. Essas folhas caem prematuramente e a planta retarda sua frutificação (SILVA et al., 2013).

Em relação ao enxofre, dentre os materiais utilizados na construção do solo dos experimentos, os maiores contribuintes com este elemento foram o gesso químico (0,7%) e o resíduo da agroindústria avícola com (0,17%). O enxofre é exigido em pequenas quantidades, mas faz parte de alguns aminoácidos essenciais como metionina, cistina e cisteína, de certas vitaminas e da coenzima A, sendo, também, um ativador de enzimas (LIMA, 2013). Os sintomas da deficiência de enxofre são semelhantes aos sintomas da deficiência de nitrogênio, ou seja, as folhas tornam-se verde-amareladas, atingindo primeiramente as folhas novas. As plantas com deficiência de enxofre geralmente apresentam o caule lenhoso, duro e de pequeno diâmetro (SILVA et al., 2013).

No que diz respeito ao carbono orgânico, os resíduos da agroindústria avícola e os resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz são as maiores fontes deste elemento, para os experimentos Segundo Alvarez et al. (1999) em solos naturais equilibrados, normalmente o teor de matéria orgânica é 1,724 vezes o valor do carbono orgânico. Se considerarmos os materiais utilizados na construção dos solos nos experimentos, o conteúdo de matéria orgânica nos resíduos da agroindústria avícola podem conter 80,16% (46,5 % x 1,724), enquanto que os resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz até 33,10% de matéria orgânica. Segundo Raji (1983), na maioria dos solos, os teores de matéria orgânica dificilmente atingem a porcentagem de 5%, principalmente em se tratando de solos cultivados por algum tempo.

Estes materiais tornam-se assim, importantes contribuintes para o desenvolvimento e a manutenção de estoque de nutrientes no novo solo construído, além de promoverem o desenvolvimento do solo em termo de estrutura, capacidade de retenção de água e de oferta de nichos ecológicos apropriados aos microorganismos do solo.

6.3 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS DE FERTILIDADE DOS SOLOS CONSTRUÍDOS (TRATAMENTOS) AO LONGO DOS TRÊS TEMPOS DE ANÁLISE (ZERO, SEIS E DOZE MESES)

Os solos construídos em áreas de mineração de carvão são feições topográficas de áreas que sofreram processo de mineração a céu aberto (KÄMPF et al., 1997; PINTO, 1997; KÄMPF et al., 2000), que devem proporcionar condições para o desenvolvimento da vegetação (PINTO, 1997; GONÇALVES et al., 2003).

A disponibilidade de informações morfológicas ou químicas sobre solos construídos após a mineração de carvão no sul do Brasil é escassa (COSTA; ZOCHE, 2010), uma vez que este é um tema que só recentemente, nas últimas décadas tem sido desenvolvido e divulgado. Os trabalhos de Kämpf et al. (1997), Pinto (1997) e Kämpf et al. (2000), desenvolvidos no Rio Grande Sul; e os de Campos et al. (2003) e Costa e Zocche (2010) em Santa Catarina, podem ser considerados como pioneiros no sul do Brasil. Todos tem uma forte influência das práticas agrícolas.

Durante o processo de construção de um solo, são necessários a avaliação e monitoramento constante das condições químicas, especialmente a sua fertilidade (MIAO; MARRS, 2000) uma vez que ela indica disponibilidade e presença de elementos tóxicos às plantas (SCIVITTARO; PILLON, 2006). Nas análises de fertilidade convencionais para solos agrícolas, os parâmetros avaliados segundo a SBCS (2004) são a textura do solo (avaliado por meio do percentual de argila), o pH, o índice de SMP, o teores de fósforo e potássio, o percentual de matéria orgânica, os teores de alumínio, cálcio, magnésio e sódio trocáveis, os teores de hidrogênio mais alumínio, a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e, a saturação de bases. Os resultados obtidos são então comparados com valores padrão, os quais permitem, sobretudo, o diagnóstico e as orientações quanto à aplicação de corretivos e fertilizantes.

Como os estudos com solos construídos em áreas de mineração de carvão ainda são insipientes, as avaliações são feitas com base em critérios agronômicos.

6.3.1 Textura

A textura refere-se à proporção entre as frações de areia, silte e argila (FASOLO et al., 1986). Depende das características herdadas do material originário e dos agentes responsáveis pela formação dos solos.

É considerada a mais importante dentre as propriedades físicas, já que influi na capacidade de retenção e infiltração de água do solo, na aeração, além de afetar diretamente a capacidade de retenção dos nutrientes (MAZUCHOWSKI; DERPSCH, 1984).

Segundo a EMBRAPA (1996) o solo pode ser classificado conforme a porcentagem das frações de areia, silte e argila em classes texturais como: textura arenosa (são as areia e areia fraca), textura média (composta por menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, exceto areia e areia fraca), textura argilosa (constituída de 35 a 60% de argila), textura muito argilosa (composta por mais de 60% de argila) e, textura silteosa (composta por mais de 50% de silte, menos de 15% de areia e menos de 35% de argila).

Os solos naturais utilizados nos tratamentos do presente estudo (solo do horizonte superficial e solo do horizonte subsuperficial), segundo a EMBRAPA (1996) enquadram-se na classe textural de solos com textura média a argilosa, já que os resultados de textura oscilaram de 30 a 43% de argila. Os demais tratamentos III, IV, V e VI apresentaram teores médios de argila inferiores a 7% e, pelo fato de serem solos construídos a partir de resíduos (gesso químico, resíduos da agroindústria agrícola e resíduos das peneiras do beneficiamento do arroz) não podem ser classificados em relação à textura, já que não levaram, ou levaram uma proporção muito pequena de argila em sua construção.

Os solos dos tratamentos V e VI apresentaram valores baixos de textura, porém grande quantidade de matéria orgânica, que contribui na retenção dos nutrientes para as plantas, além de grande quantidade de sementes trazidas junto com os resíduos da agroindústria avícola e pelos resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz.

6.3.2 Potencial hidrogeniônico

O pH potencial de hidrogênio (H) é uma maneira de expressar, através de números, se um solo é ácido, neutro ou alcalino. A quantidade de hidrogênio é que determina a maior ou menor acidez do solo. Varia de 1 a 14, sendo que na faixa de 1 a 6 o solo é considerado ácido, solos com pH 7 são neutros e entre os valores 8 a 14 o solo é considerado alcalino (CANECCHIO FILHO, 1973).

Segundo Fageria, (2004), o grau de acidez do solo é identificado como ligeiramente ácido, com pH entre 6,0 e 7,0; moderadamente ácido, com pH entre 5,5 e 6,0; fortemente ácido, pH entre 5,0 e 5,5; muito

ácido, pH 4,5 a 5,0; e extremamente ácido, pH menor que 4,5. Outra classificação, a agrônômica expressa por Alvarez et al., (1999) que a descreve o como muito baixo menor que 4,5; baixo de 4,5 a 5,4; bom de 5,5,a 6,0; alto de 6,1 a 7,0 e muito alto maior que 7,0.

Sob condições de pH muito ácido, a disponibilidade de nutrientes para as plantas torna-se prejudicada (ERNANI, 2008). Os nutrientes ficam disponíveis em maiores quantidades para as plantas quando o pH do solo se encontra no intervalo entre 5,8 e 6,2. Os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre se tornam mais disponíveis em solos com pHs mais elevados em relação à tolerância à maioria das plantas. Os micronutrientes, como cobre, ferro, zinco e manganês, têm suas concentrações reduzidas com o aumento do pH, já os micronutrientes boro, molibdênio e cloro são mais disponíveis em condições de pH mais alcalinos (OLIVEIRA et al., 2012).

Nos tratamentos aplicados no presente experimento, os resultados obtidos em relação ao pH (Tabela 6) evidenciam uma grande diferença entre o tratamento II (considerado muito ácido), em relação aos demais tratamentos III, IV, V e VI que apresentaram pH muito alto, conforme EMBRAPA (2004). A acidez dos solos interfere diretamente na disponibilidade do alumínio, pois podemos observar que o mesmo se manteve na solução do solo num nível baixo no tratamento II e nos demais tratamentos num nível muito baixo.

Nossos resultados evidenciam que os solos naturais da região são normalmente muito ácidos e que em todos os demais solos construídos (tratamentos III, IV, V e VI) este parâmetro em média variou de muito alto a alto. A análise do comportamento deste parâmetro ao longo dos três tempos de análise (tempo zero quanto no tempo 12 meses) evidencia que há uma ligeira queda nos valores do pH, provavelmente em função do equilíbrio natural e desenvolvimento do solo.

6.3.3 Conteúdo de fósforo

O fósforo é um dos constituintes do núcleo das células, encontra significativamente nas flores e frutos. É indispensável para planta na transformação dos hidratos de carbono em açúcares, importante na divisão celular, formação das albuminas e da clorofila. Promove o crescimento das raízes, aumentando assim a capacidade da planta de absorver os nutrientes do solo (LIMA, 2013; CANECCHIO FILHO, 1973).

Quanto à interpretação e recomendação de fósforo, é fundamental levar em consideração que as classes de fertilidade, de caráter geral,

apresentadas de acordo com o teor de argila ou com o valor de fósforo remanescente, são definidas para amostras que representam a fertilidade média para culturas de ciclo curto, considerando seu ciclo total. Porém na fase de implantação, a fertilidade local do solo (lugar de transplântio ou semeadura) necessita ser bem maior; assim, os valores apresentados pela SBCS (2004) devem ser pelo menos cinco vezes maiores. Também a fertilidade média da gleba ou talhão, necessária para a manutenção, deve ser variável de acordo com os grupos de cultura: povoamentos florestais, 0,5 vezes os valores apresentados abaixo outras culturas perenes, 0,75 vezes; hortaliças, quatro vezes (ALVAREZ et al., 1999).

Em relação ao fósforo (Tabela 6) os tratamentos também apresentaram diferenças entre si, sendo valor médio para II, baixo para III e IV e alto para os tratamentos V e VI, o que os coloca como os melhores entre os tratamentos testados.

Segundo a SBCS (2004) os solos que apresentam menos de 20% de argila são enquadrados na classe 4. Nestes solos, o teor de fósforo é considerado: baixo, quando são menores ou iguais a 3 mg/dm^3 ; médio, quando a concentração de fósforo fica entre 3,1 e 6 mg/dm^3 ; alto, quando a concentração de fósforo é de 6,1 a 12 mg/dm^3 e; muito alto, quando as concentrações de fósforo são maiores do que 12 mg/dm^3 . De outra forma, solos que apresentam percentuais de argila entre 21 a 40% são enquadrados na classe 3. Nos solos pertencentes a esta classe, os teores de fósforo são considerados: muito baixos, se forem menores ou iguais a 4 mg/dm^3 ; baixos, se a concentração de fósforo estiver entre 4,1 e 8 mg/dm^3 ; médios, se concentração de fósforo estiver entre 8,1 e 12 mg/dm^3 ; altos, se a concentração de fósforo estiver 12,1 e 24 mg/dm^3 e; muito altos, quando o teor de fósforo for maior que 24 mg/dm^3 .

Nossos tratamentos se enquadram na classe 3 (tratamento II – solo do horizonte superficial) e classe 4 os demais tratamentos, já que os teores médios de argila nos três tempos de análise ficaram abaixo de sete. Assim sendo no solo natural os níveis de fósforo estão baixos, enquanto que nos demais solos construídos os níveis deste elemento são considerados baixos (nos tratamentos III e IV), alto no tratamento V e muito alto no tratamento VI.

Conforme foi discutido acima, no item 6.2, a análise individual dos materiais utilizados na composição dos tratamentos (tabela 2) evidenciou que o solo do horizonte superficial e o solo do horizonte subsuperficial são as maiores fontes de fósforo para os novos solos construídos (tratamentos).

Ao juntarmos todos os materiais componentes dos novos solos construídos, percebe-se que os resultados obtidos nas avaliações nos

tempos zero, seis meses e doze meses (Tabelas 3, 4 e 5, respectivamente), apresentam um comportamento diferente, pois nos tratamentos V (não continha solo) e VI (continha 1/4 de solo), apresentaram valores de conteúdo de fósforo iguais a 2 e 9 vezes maiores, respectivamente, do que o valor detectado no tratamento II (solo do horizonte superficial). Este fato leva-nos a supor que a mistura de materiais dos tratamentos V e VI, potencializa a disponibilização de fósforo na forma trocável, fato que não ocorre quando os materiais estão separados. Isto nos leva a pensar que os resíduos da agroindústria avícola e os resíduos das peneiras do beneficiamento do arroz contêm valores elevados de fósforo, mas não na forma disponível e, ao entrar em contato com os outros materiais utilizados nos tratamentos, liberam este elemento para a solução do novo solo construído.

Segundo Gianello et al. (1995) a correção da acidez promove o aumento da taxa de mineralização da matéria orgânica, e posteriormente a isso há a liberação de fósforo (P) e de outros nutrientes ligados a mesma e maior aproveitamento do P pelas plantas, tanto o natural como o adicionado, devido a menor fixação pelos minerais. Este fato pode ter ocorrido nos tratamentos V e VI, o que fez com que, na presença do gesso químico, houve a liberação do fósforo que se encontrava na forma não disponível nos resíduos da agroindústria avícola e nos resíduos das peneiras do beneficiamento do arroz.

A maior disponibilidade de fósforo no solo está na faixa de pH em água de 5,5 a 6,8 o que equivale, aproximadamente, a valores de 5,0 a 6,2 de pH em cloreto de cálcio. Trata-se das condições que permitem a combinação das maiores solubilidades, ao mesmo tempo, de fosfatos de alumínio, de ferro e de cálcio (RAIJ, 2011).

6.3.4 Conteúdo de potássio

Embora o potássio seja de maneira geral o segundo nutriente mais exigido pelas culturas, o mesmo não se encontra nos solos em teores tão limitantes quanto o fósforo. É depois do fósforo, o nutriente mais consumido como fertilizante pela agricultura (FAQUIN, 2005).

A principal forma do potássio nos solos é a mineral, encontrado na rede cristalina de minerais primários (feldspatos, micas como a muscovita e a biotita) e nos secundários (argilas do tipo 2:1, ilita e vermiculita) (PRETTY, 1982). A matéria orgânica do solo, além de possuir o potássio trocável, apresenta o nutriente no seu interior, o qual é liberado por lavagem e no processo de mineralização (MALAVOLTA; CROCOMO, 1982).

O potássio é essencial à produção dos amidos e açúcares por sua associação com carboidratos. Estimula e aumenta a função da clorofila das folhas, é essencial para assimilação, respiração e o desenvolvimento das raízes das plantas (CANECHIO FILHO, 1973).

Pode ser classificado segundo sua disponibilidade no solo em classes: muito baixa (concentrações potássio menores ou igual a 15 mg/dm^3); baixa (concentração de potássio intermediárias de 16 a 40 mg/dm^3); média (concentração de potássio de 41 a 70 mg/dm^3); boa (concentração de potássio de 71 a 120 mg/dm^3); muito boa (concentração de potássio maiores do que 120 mg/dm^3) (ALVAREZ et al., 1999).

Segundo Veloso et al. (2001) com dose de 100 mg kg^{-1} de potássio já foi possível obter resultados significativos na produção de massa seca de milho. Em solos com saturação de potássio acima do normal, pode haver uma redução na disponibilidade de outros elementos como o cálcio, magnésio, sódio e boro (BOOM, 2002).

O teor de potássio nos tratamento II e III pode ser considerado baixo, no tratamento IV como médio e nos tratamentos V e VI como bom, conforme Alvarez et al. (1999), o que os coloca como os melhores entre os tratamentos testados, assim como foi verificado em relação aos teores de fósforo.

Silva et al. (1997) observaram que os teores de Mg e de K da camada arável diminuíram com a gessagem, no entanto, em profundidade, observaram aumento nos teores de Ca, Mg e K, proporcionalmente às quantidades lixiviadas de S-SO_4 .

6.3.5 Conteúdo de matéria orgânica

A matéria orgânica do solo está relacionada a seres vivos (raízes de plantas e os organismos do solo, compreendem em média 4% do total) e não-vivos (resíduos de plantas em decomposição, as substâncias humificadas e as não humificadas) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Raij (1983), na maioria dos solos, os teores de matéria orgânica dificilmente atingem a porcentagem de 5%, principalmente em se tratando de solos cultivados por algum tempo. A matéria orgânica existe em várias formas no solo, desde resíduos orgânicos recentemente adicionados (fração não húmica), cuja origem ainda pode ser visualmente reconhecida (JORGE, 1985; ERNANI, 2008), até as frações húmicas que já sofreram grandes transformações pelos microorganismos. Essas características, bem como seus efeitos sobre as

propriedades e atributos do solo e sobre a disponibilidade de nutrientes, são bastante distintas (ERNANI, 2008).

Segundo Fageria (2004) os solos são classificados conforme os seus teores de matéria orgânica em: solos com altos teores de matéria orgânica maiores que 45 g kg^{-1} (4,5%), solos com valores médios, de $15 \text{ g a } 45 \text{ g kg}^{-1}$ (1,5% a 4,5%) e solos com valores baixos aqueles com menos de 15 g kg^{-1} (1,5%) de matéria orgânica.

De acordo com a classificação acima, todos os solos construídos neste experimento são classificados como solos com teores médios a altos de matéria orgânica. Este parâmetro apresentou uma grande variação entre os tratamentos e nos três tempos de análise no tratamento II os valores variaram de médio a alto, no III de alto a baixo, no IV manteve-se na classe média e nos tratamentos V e VI os valores foram altos.

Levando em consideração a matéria orgânica os melhores tratamentos foram os tratamentos V e VI Quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, maior a probabilidade de haver nitrogênio, enxofre e micronutrientes. Também haverá maior capacidade de retenção de nutrientes, além de maior porosidade (PRIMAVESI, 2002). Além disso, a matéria orgânica confere uma melhoria na retenção de umidade, arejamento, infiltração de água, penetração radicular e diminuição da toxidez de alumínio (CABEZAS, 2011).

6.3.6 Conteúdo de alumínio trocável

A acidez dos solos pode ser classificada de duas formas: ativa ou potencial. A acidez ativa está presente na solução do solo, interfere diretamente sobre disponibilidade dos nutrientes para as plantas e é expressa pelo pH determinado em água. Já a acidez potencial é composta por hidrogênio (H^+) dissociável e alumínio (Al^{3+}) que ocorrem adsorvidos aos colóides inorgânicos (argilas) e orgânicos (matéria orgânica) do solo (ERNANI, 2008). Segundo Gianello et al. (1995) a acidez potencial é a resistência que o solo possui em elevar seu pH mesmo quando adicionados compostos básicos.

Esta acidez refere-se ao alumínio (Al^{3+}) e hidrogênio (H^+) trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos colóides minerais ou colóides orgânicos, por forças eletrostáticas. Em geral é avaliada, nas análises de rotina, extraído com $\text{KCl } 1 \text{ mol/L}$, não tamponado, que também é utilizado, em alguns laboratórios, para extrair cálcio e magnésio trocáveis. A acidez trocável, também conhecida por Al trocável ou acidez nociva, apresenta efeito nocivo ao desenvolvimento normal de

um grande número de culturas. A toxidez de alumínio representa altos índices de acidez trocável ou acidez nociva (LOPES; GUILHERME, 2012).

A capacidade de tolerância ou a sensibilidade à acidez ativa, acidez trocável, saturação por bases, saturação por alumínio e disponibilidade de nutrientes dependem muito da cultura, e até mesmo da cultivar que será usada. Sendo assim, as classes de fertilidade devem ser interpretadas, considerando as exigências específicas a cada empreendimento agrícola, pecuário ou florestal (ALVAREZ et al. (1999).

Segundo Canecchio Filho (1973) em solos ácidos com toxidez de alumínio, as raízes tornam-se curtas e grossas, com redução das sementes. A redução no tamanho das raízes se dá devido à inibição celular. Já o engrossamento com poucas ramificações decorre da desorganização dos meristemas (GIANELLO et al., 1995). O último autor afirma que com toxidez do alumínio as plantas apresentam escurecimento das raízes a necrose dos tecidos, além de baixa concentração de fósforo na planta, devido à redução a absorção e translocação deste para parte aérea.

As folhas se tornam purpúreas, sem brilho e ocorre a redução na produção de sementes (CANECHIO FILHO, 1973). Além disso, segundo Gianello et al (1995), a toxidez provoca o escurecimento das raízes devido à necrose dos tecidos, acumulação de Al no protoplasma e núcleo das células do córtex das raízes e à baixa concentração de P na planta, devido a redução na absorção e translocação deste para a parte aérea.

O Al^{3+} trocável ou livre é um dos componentes da acidez potencial mais importante nos solos ácidos muito intemperizados, pois este está em equilíbrio com o Al^{3+} da solução do solo (CANECHIO FILHO, 1973). Salvador et al. (2000), constataram que doses crescentes de Al reduziram a absorção e o transporte de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn para a parte aérea, sugerindo que a redução de Ca e Mg deve-se a uma inibição interiônica desses cátions pelo Al.

Segundo Oliveira et al. (2012) para anular o alumínio trocável, o procedimento mais comumente utilizado é elevar o pH para um valor acima de 5,5, de preferência o intervalo de 5,8 a 6,2; a saturação por bases para 50%; os teores de cálcio e magnésio para valores acima de $2 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; os teores de magnésio para valores acima de $0,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$; e a saturação por alumínio para um valor abaixo de 20%.

Segundo a SBCS (2004), a saturação por alumínio (CTC_{efetiva}) muito baixo: valores menores que 1%; baixo: valores entre 1 a 10%; médio: valores entre 10,1 a 20% e alto: valores maiores que 20%.

Em solos agrícolas, os valores de pH e Al alteram-se pouco em profundidade, devido à baixa solubilidade dos corretivos agrícolas utilizados, a acidez e à alta reatividade de seus ânions com os ácidos presentes na camada de solo, em que o calcário é incorporado. A baixa mobilidade de Ca e Mg, por outro lado, deve-se à pequena permanência dos ânions adicionados pelo calcário na solução do solo. Sendo assim, a quase totalidade do Ca e do Mg adicionada vai para as cargas negativas criadas pelo aumento do pH, e para as cargas anteriormente ocupadas pelo Al e só uma pequena parte fica na solução do solo (GONZALEZ-ERICO et al., 1979).

Em todos os solos construídos (neste estudo), os que receberam a adição de gesso químico, a disponibilidade do alumínio trocável foi controlada conforme mostram as tabelas 3, 4 e 5 em todos os tempos analisados. Da mesma forma, os valores de potássio, cálcio, soma de bases, CTC e saturação de bases tiveram seus valores superiores quando comparados ao tratamento que possui somente solo.

6.3.7 Conteúdo de cálcio

O cálcio é um importante componente das paredes celulares, influenciando no crescimento e firmeza da planta. Alguns dos sintomas de deficiências de cálcio apresentam-se como deformidade nas folhas novas, tamanho reduzido das folhas com cor verde escura e caules enfraquecidos (SCHOLL; NIEUWENHUIS, 2003).

Segundo a SBCS (2004) os valores de interpretação dos teores de cálcio no solo são: baixo (valor menor ou igual a $2,0 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$); médio (valores de $2,1$ a $4,0 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$) e; alto (valores maiores do que $4,0 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$).

Em nossos experimentos, os teores de cálcio foram semelhantes entre os tratamentos III, IV, V e VI (Tabela 6) tidos como altos, já no tratamento II classificou-se de médio a alto, conforme SBCS (2004). O excesso de cálcio no solo pode reduzir a disponibilidade de fósforo e boro e de outros cátions como magnésio, potássio, ferro, manganês, zinco e cobre. Além disso, pode levar a níveis excessivamente elevados de molibdênio na forragem (BOOM, 2002). Os sintomas do excesso de cálcio podem ser confundidos com a falta de alguns micronutrientes como zinco, cobre, ferro, boro e manganês (ALBERONI, 1998).

Segundo Medeiros et al. (2008) com o aumento da relação Ca:Mg em Cambissolo Húmico álico foi verificada a redução da altura e da produção de massa seca da parte aérea em plantas de milho (*Zea mays*). Da mesma forma, relações Ca:Mg maiores que 3:1 causaram redução no crescimento e na produção de plantas de milho, cultivadas em Neossolo Quartzarênico (MUNOZ HERNANDEZ; SILVEIRA, 1998).

Silva et al. (1997) observaram que em profundidade no solo os teores de Ca aumentaram com a gessagem, proporcionalmente às quantidades lixiviadas de S-SO₄.

6.3.8 Conteúdo de magnésio

O magnésio é um dos constituintes indispensáveis da clorofila (folhas e talos herbáceos). Sua deficiência causa manchas coloridas nas folhas e nos cereais as manchas podem ser amarelas e longitudinais (SCHOLL; NIEUWENHUIS, 2003). Têm grande mobilidade dentro da planta deslocando das partes mais velhas para as mais jovens, quando há escassez desse elemento no solo (CANECHIO FILHO, 1973).

Segundo a SBCS (2004) os valores de interpretação dos teores de magnésio no solo são: baixo, para valores menores ou iguais a 0,5 cmol_c/dm³; médio, para concentrações intermediárias de 0,6 a 1,0 cmol_c/dm³; alto, para valores maiores do que 1,0 cmol_c/dm³.

Levando em consideração a classificação acima, observa-se em nossos experimentos que os tratamentos diferenciaram-se entre si, já que foi observado teores que variaram de alto a baixo (tratamento - II), alto (tratamento - III), médio a alto (tratamento - IV), alto a médio (tratamento - V) e baixo a alto (tratamento - VI).

Medeiros et al. (2008) em seus estudos observou-se que os teores de magnésio nos tecidos vegetais decresceram, a medida que aumentou a relação cálcio/magnésio no solo. Isto demonstra que o aumento da absorção de cálcio reduziu a absorção de magnésio, comportamento explicado pelo antagonismo entre estes dois elementos, levando à deficiência de magnésio na parte aérea das plantas de milho.

A relação cálcio/magnésio influencia o rendimento das culturas. Estudos realizados, que levaram em consideração a relação cálcio/magnésio, o melhor rendimento foi obtido na relação de 3:1 (SILVA, 1980). Segundo, Fageria (2001) os valores mais adequados da relação cálcio/magnésio no solo, foram de 1,8, 2,3, 2,4 e 2,6 no rendimento das culturas de arroz, feijão, milho e soja respectivamente.

Segundo Prado, Franco e Puga (2010) a falta de magnésio

acarretou redução de 58% na matéria seca total em plantas de soja, quando comparadas as plantas cultivadas em solução nutritiva completa.

Nossos resultados evidenciaram variação crescente em todos os tratamentos na relação cálcio magnésio. No tratamento III a variação foi de 3/1 (no tempo zero para 12/1 no tempo 12 meses, no tratamento III a variação foi de 29/1 para 184/1, no tratamento IV a variação foi de 25/1 para 130/1, no tratamento V a variação foi de 60/1 para 160/1 e no tratamento VI a variação foi de 10/1 para 240/1).

6.3.9 Conteúdo de sódio

O sódio, o silício e o cobalto são designados por elementos benéficos porque estimulam o crescimento de algumas plantas, não sendo essenciais, ou porque são essenciais apenas para algumas espécies vegetais (QUELHAS, 1991).

Embora tóxico para a maioria das plantas, é um micronutriente para espécies C4, tendo provavelmente função no transporte de piruvato das células da bainha vascular para as células do mecanismo C4. A eficiência da via fotossintética C4 é reduzida na falta ou deficiência de Na, e isto é exacerbado quando se reduz o teor de CO₂ atmosférico (MARSCHNER, 1995).

Nossos resultados evidenciam aumento significativo na disponibilidade deste elemento nos tratamentos V e VI, na ordem de quatro vezes em relação aos solos naturais da região e na ordem de quase duas vezes em relação aos tratamentos III e IV (Gesso químico e, gesso químico e solo do horizonte superficial, respectivamente)

6.3.10 Soma de bases e saturação de bases

Bases é a denominação que se dá aos elementos K, Ca, Mg e as vezes ao sódio (Na) também (MALAVOLTA et al., 2002). A soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H⁺ e Al³⁺ ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$) (RONQUIM, 2010).

Segundo Alvarez et al. (1999) as classes de interpretação de fertilidade do solo para soma de bases são: muito baixa, quando o valor da soma de bases for menor do que 0,60 cmol_c/dm³; baixa, quando os valores estiverem entre 0,61 e 1,80 cmol_c/dm³; média, quando os valores forem de 1,81 a 3,60 cmol_c/dm³; boa, quando os valores estiverem entre 3,61 e 6,00 cmol_c/dm³ e; muito boa, quando os valores forem maiores do que 6 cmol_c/dm³.

A soma de bases (SB) e a saturação por bases (V) são excelentes indicativos das condições gerais da fertilidade do solo, sendo utilizadas na classificação de solos quanto a uma medida do eutrofismo (SILVA et al., 2007; RONQUIM, 2010). A saturação de bases maior que 50% caracteriza o solo como eutrófico, ou seja, alta fertilidade natural, (SILVA et al., 2007).

Segundo Ronquim (2010) denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions:

$$V(\%) = (100 \times SB) / CTC$$

Onde:

$$CTC \text{ total} = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + H^{+} + Al^{3+}).$$

De acordo com o autor op. cit., neste cálculo considera-se o valor da CTC total, ou seja, leva-se em conta todos os cátions permutáveis do solo ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + H^{+} + Al^{3+}$). Segundo Alvarez et al. (1999) as classes de interpretação de fertilidade do solo para saturação por bases (V) são: muito baixa, quando a saturação por bases for menor do que 20%; baixa, quando a saturação por bases estiver entre 20,1 e 40%; média, quando estiver entre 40,1 e 60%; boa quando a saturação estiver entre 60,1 e 80% e; muito boa, quando o valor de saturação por bases for acima de 80%.

A capacidade de tolerância ou a sensibilidade à acidez ativa, acidez trocável, saturação por bases, saturação por alumínio e disponibilidade de nutrientes dependem muito da cultura, e até mesmo da cultivar que será usada. Sendo assim, as classes de fertilidade devem ser interpretadas, considerando as exigências específicas a cada empreendimento agrícola, pecuário ou florestal (ALVAREZ et al. (1999).

Assim como a soma de bases a saturação de bases teve o mesmo comportamento, ou seja, o tratamento II apresentou diferente dos demais sendo classificado como muito baixo a baixo, enquanto que dos demais classificaram-se como muito bom.

6.3.11 Capacidade de troca catiônica

Dentre as propriedades mais importantes das partículas de argilas podemos citar a capacidade de troca de cátions (CTC) que é a quantidade de íons adsorvidos por unidade de massa e a energia com que estes íons são retidos (JORGE, 1985).

Quanto aos valores da capacidade de troca de cátions (Tabela 6) os tratamentos tiveram resultados semelhantes sendo os valores observados classificando os como bom a muito bom para tratamento II e muito bom para os demais tratamentos.

Segundo Fageria (2004) a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo pode ser definida como o número total de cátions trocáveis que este pode reter. Logo quanto mais alta for a CTC, mais cátions poderão ser retidos pelo solo. Ainda segundo este autor, os três principais fatores que afetam a CTC do solo são: a textura, a quantidade e o tipo de argila e, o teor de matéria orgânica.

Segundo Ronquim (2010) a capacidade de troca de cátions dos solos, sob condições tropicais, é determinada principalmente pela quantidade de: argilas minerais (caulinita, montmorilonita, illita, vermiculita, alofana), substâncias húmicas e, óxidos de ferro e alumínio. Ainda segundo o autor em razão do maior número de cargas negativas do que positivas desses coloides, a adsorção é principalmente de cátions, no entanto, há alguns sítios nestes coloides com cargas positivas que podem atrair ânions (principalmente nos óxidos de ferro e alumínio).

Segundo Fageria (2004) a CTC do solo pode ser classificada como: baixa, quando assumir valores menores de $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; moderadamente baixa, quando os valores estiverem entre 10 e $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; moderadamente alta, quando os valores forem superiores a 20 e inferiores a $30 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; alta, quando os valores estiverem entre 30 e $50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$; e muito alta, quando os valores forem maiores de $50 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$. Levando em consideração o autor, todos os tratamentos aplicados neste experimento evidenciaram bons valores de CTC.

6.4 ESTIMATIVA DE CUSTOS POR HECTARE PARA A RECUPERAÇÃO DO SOLO

Tomando-se como base o tratamento V, o qual não inclui solo e, portanto do ponto de vista ecológico é o mais indicado, a quantidade necessária de gesso químico, lodo da agroindústria e resíduos das peneiras do beneficiamento de arroz é de $1666,5 \text{ m}^3/\text{ha}$, o que totalizaria $5.000 \text{ m}^3/\text{ha}$ de material.

Levando em consideração o transporte desse material para a área a ser recuperada, utilizando um caminhão do tipo caçamba que transporta em média 12 m^3 de material por viagem, o que significa que para o transporte de 5.000 m^3 de material para a construção do solo por ha são utilizadas aproximadamente 417 viagens.

Se considerarmos uma distância média de 50 km entre a fonte dos materiais e as áreas a serem recuperadas, o custo médio de transporte dos materiais de R\$ 2,50 por km rodado (frete) e o custo médio de R\$ 50,00 por carregamento (máquina para carregar os caminhões), teremos então um custo médio de R\$ 175,00 por viagem.

São necessárias 417 viagens por ha, então: $417 \times 175,00 = \text{R\$ } 72.975,00$ (setenta e dois mil novecentos e setenta e cinco reais) de custo de transporte de material por ha recuperado. Este valor cai para R\$ 43.750,00 (Quarenta e três mil, setecentos e cinquenta reais), caso o perfil do solo seja construído com 0,30 m de espessura.

De acordo com as informações técnicas do setor de controle ambiental da Carbonífera Criciúma S.A. atualmente se estima um custo médio de R\$ 70.000,00 (setenta mil reais) por ha de solo recuperado. Nesta recuperação são utilizados: solos de outras áreas e os insumos necessários para torna-lo adequado ao crescimento das plantas, além de maquinário para espalhamento e transporte de materiais, obras de engenharia e mão-de-obra.

Em nossos cálculos, não foram considerados os valores do custo dos resíduos utilizados neste estudo, pois, segundo as empresas fornecedoras, como se trata de resíduos não se tem até o momento um valor estimado dos mesmos. Como são resíduos devem ser descartados de modo ecologicamente correto, o que implica no depósito em aterros sanitários, que implica em custos operacionais.

Caso estes resíduos venham a ser empregados na construção de solos em áreas de mineração de carvão, é possível e viável o estabelecimento de parcerias entre as empresas produtoras de tais resíduos e das empresas mineradoras, de modo que as empresas mineradoras se habilitem a receber tais resíduos, para utilizá-los na recuperação de áreas degradadas.

Obviamente para este processo funcionar, é necessário um controle rigoroso da composição química dos resíduos para que os mesmos não venham a contribuir com elementos tóxicos em concentrações fora dos padrões aceitos pela legislação ambiental vigente.

Como se observa, custo por ha de solo recuperado segundo a metodologia que estamos propondo é maior do que aquele praticado pela Carbonífera Criciúma S.A. No entanto, deve ser levado em conta que não estamos utilizando solo natural (se for optado pelo tratamento V), o que a médio e em longo prazo representa uma economia financeira e ecológica sem precedentes, pois, de qualquer modo, há que se

transportar o solo de um local de empréstimo para o local que está sendo recuperado.

Da mesma forma se abre uma nova possibilidade de agregar valor aos materiais que até então são encarados como resíduos, assim como, se abrem novas perspectivas de as empresas mineradoras agregarem valor a suas áreas em processo de recuperação, na medida em que passam a receber e a aproveitar os resíduos de outras empresas como material para a construção de solos e a recuperação de áreas degradadas.

7 CONCLUSÃO

Dentre os tratamentos utilizados (tipos de solos construídos) observou-se que os tratamentos V e VI apresentaram quantidades de nutrientes, matéria orgânica, soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de bases superiores aos demais tratamentos, além da eliminação do alumínio trocável.

As análises químicas dos materiais e de fertilidade dos solos construídos (tratamentos) evidenciaram que ambos os tratamentos V e VI foram semelhantes em todos os tempos analisados. Portanto, o tratamento V se mostra mais indicado para a recuperação de áreas degradadas, pois, não envolve solo natural em sua composição, evitando a retirada desse de áreas de empréstimo.

O custo médio para reabilitação de um hectare de área degradada com base nos resultados do tratamento V evidencia que é semelhante ao custo atual, praticado na reabilitação de áreas degradadas pelas empresas da região. Porém, com a grande vantagem de não precisar usar solo de áreas de empréstimo, além de dar uma destinação sustentável aos resíduos gerados pelas agroindústrias da região.

Pelo fato dos solos construídos levarem muito tempo para se estabilizarem, há a necessidade de monitorar os tratamentos V e VI por um período maior, assim como, realizar análises do conteúdo de elementos químicos nas plantas que vierem a se desenvolver, no intuito de avaliar o comportamento do solo construído e as relações solo-planta que se estabelecerão em longo prazo.

REFERÊNCIAS

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; BERTON, R.S. **Análise química e solo para metais pesados**. In: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, v. 2, p. 645-692.

ALBA, J.M.F. (Ed.). **Recuperação de áreas mineradas: a visão dos especialistas brasileiros**. Pelotas: Embrapa-CPACT, 2007. 212 p.

ABMC – Associação Brasileira de Carvão Mineral. Disponível em: <<http://www.carvaomineral.com.br>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

ALBERONI, R. B. Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo. São Paulo, Nobel, 1998. 102p.

ALLEN, S.; GRIMSHAW, M.H.; PARKINSON, J.A.; QUARMBY, C. **Chemical analysis of ecological materials**. Oxford: Blackwell, 1974.

ALEXANDRE, N.Z.; KREBS, A.S.J. **Qualidade das águas superficiais do município de Criciúma, SC**. Porto Alegre, RS: v. 6, CPRM, 1995.

ALEXANDRE, N.Z. Diagnóstico ambiental da região carbonífera de Santa Catarina: degradação dos recursos naturais. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 5, n. 2, p. 35-50, 1999.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. **Interpretação dos resultados das análises de solos**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H.(Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.

AMARAL, J.E.; KREBS, A.S.J. **Drenagem ácida da mineração de carvão e sua interrelação com metais pesados e recarga de aquíferos na bacia carbonífera do estado de Santa Catarina**. Disponível em: <www.cprm.com.br/publicações>. Acesso em: 25 nov. 2011.

AMERICAN PUBLIC ASSOCIATION (APHA) (1999). Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 20ª ed. United States of America. American Public Health Association, 1998.

AMATO, G. W.. **Sabores e Saberes do Arroz, 2007**. Disponível em: <<http://www.sindarroz-sc.com.br>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

BACK, A.J. 1999. Análise dos dados de Vento. **Revista de Tecnologia e Ambiente**. Criciúma, v.5, n.2, p.7-17.

BACKES, M. A.; KAMPF, A. N. Substratos a base de compost de lixo urbano para produção de plantas ornamentais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26. 1991.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS F.F.; LUZ, A.B. **Diagnóstico do pólo gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento**. 2004 Disponível em: <<http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Consultas.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

BARBOSA, J. P. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense**. Disponível em: <<http://www.carvaomineral.com.br>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

BELOLLI, M.; QUADROS, J.; GUIDI, A. **História do Carvão de Santa Catarina**. Criciúma: Imprensa Oficial do Estado de Santa Catarina, 2002.

BOOM, R. **Solo saudável, pasto saudável, rebanho saudável - a abordagem equilibrada**. I Conferencia Virtual Global sobre produção orgânica de Bovinos de Corte. Outubro de 2002. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/>>. Acesso em: 01 maio 2013.

BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M. J. **Princípios de fertilidade de solo**. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995. p. 47 a 72.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 28 de 27 de julho de 2007**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 05 dez. 2011.

BROOKS, R.R. **Biological methods of prospecting for minerals**. New York: Wiley-Interscience, 1983.

CABEZAS, W.A.R. L. **Matéria orgânica de solo: agente determinante da eficiência de fertilizantes nitrogenados**. 2013. Disponível em: <<http://www.infobibos.com/Artigos/2011>>. Acesso em: 08 jun. 2013

CANECCHIO FILHO, V. **Administração agrícola**. 2. ed. Campinas-SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.

CANTHÉ, C. **Turfa**. Disponível em: <www.acquaverde.com.br/turfa.html>. Acesso em: 27 nov. 2011.

CARBONÍFERA CRICIÚMA S.A. **Relatório técnico**: Estado da Arte do Aproveitamento de Materiais Contendo Gesso - Aplicações para o Gesso Químico da Carbonífera Criciúma S/A. Criciúma.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da Bacia Carbonífera Sul Catarinense**. Relatório Técnico elaborado para o SIECESC. v. 1/2. 2001.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grão**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

COSTA, S. **Estrutura da vegetação herbáceo-arbustiva dos solos construídos em áreas mineradas de carvão a céu aberto e a relação de *Axonopus obtusifolius* (Raddi) Chase com Mn e Pb**. 2007. f. 41. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2007.

COSTA, S.; ZOCHE, J.J. Fertilidade de solos em áreas de mineração de carvão na região sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 33, p. 665-674, 2009.

_____. Estudo da concentração de metais pesados no solo e em plantas que se desenvolvem espontaneamente sobre áreas de mineração de carvão a céu aberto. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNESC, 4, 2004, Criciúma. **Anais...** Criciúma: UNESC, 2004.

_____. Metais pesados (Zn e Pb) em áreas degradadas pela mineração de carvão a céu aberto no município de Treviso (SC), Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DDEGRADADAS, 6., 2005, Curitiba.
Anais... Curitiba: SOBRAD, 2005.

COSTA, S.; ZOCHE, J.J.; ZOCHE-DE-SOUZA, P. Absorção de metais pesados (Zn e Pb) por *Axonopus obtusifolius* (Radi) em áreas degradadas pela mineração de carvão, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 765-767. 2007.

CPRM. **Carvão mineral**. Coluna white. Disponível em:
<<http://www.cprm.gov.br>>. Acesso em: 15 dez. 2012.

DA SILVEIRA, F.Z.; DEFAVERI, T.M.; RICKEN, C. ZOCHE, J.J.; PICH, C.T. Toxicity and genotoxicity evaluation of acid mine drainage treatment using *Artemia* sp. and *Geophagus brasiliensis* as bioindicators. In: Barnhisel, R.I. (Ed.). **National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Billings, MT Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches**, p. 1725-1742. Maio/Jun., 2009.

DE FAVERI, T.M.; SILVEIRA, F.Z.; RICKEN, C.; ZOCHE, J.J.; PICH, C.T. Evaluation of acid mine drainage treatment using *Artemia* sp. and *Allium cepa* as bioindicators of toxicity and genotoxicity. In: Barnhisel, R.I. (Ed.). **National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation, Billings, MT Revitalizing the Environment: Proven Solutions and Innovative Approaches**, p. 283-301. Maio/Jun., 2009.

DAJOZ, R. **Princípios de ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 519 p.

DE LUCA, F.J.; GASTALDON, M.C. Desenvolvimento sustentável e a recuperação das áreas degradadas abandonadas pela mineração de carvão na região Sul do Estado de Santa Catarina. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma (SC), v.5, n.2, p.19-33, 1999.

DELLA, V.P.; KUHN, I.; HOTZA, D. Reciclagem de Resíduos Agroindustriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. **Cerâmica Industrial**, São Paulo, v. 10, 2005.

DIAS, L.E. **Uso de gesso como insumo agrícola. Comunicado técnico. Seropédica**. Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa de Biologia – CNPDS, 1992. 6p.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL . **Informativo Anual da Indústria Carbonífera. Brasília.** 2004. Disponível em: <www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 10 jan. 2009.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2009. 2ª ed. 306 p.

_____. **Histórico da produção de arroz irrigado.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

_____. **Produção de sementes sadias de feijão comum em várzeas tropicais.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 05 nov. 2012.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL - EPAGRI. 1999. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina.** 1999. CD-ROM.

_____. **Histórico da produção de arroz irrigado.** Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br>>. Acesso em: 18 nov. 2011.

ERNANI, P.R.. Alterações em algumas características químicas da camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. R. Bras. Ci. Solo, 10:241-245, 1986.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes.** Lages: Ed. do Autor, 2008.

ERNANI, P.R.; CASSOL, P.C.; MORIGUTII, H.; GARCIA, M.M.; VACARO, M. Aplicação de gesso agrícola e lixiviação de potássio em solos catarinenses. **Universidade & Desenvolvimento**, v. 1, p.7-16, 1993.

FAGERIA, N. K. **Produção de sementes sadias de feijão comum em várzeas tropicais.** Embrapa feijão e arroz, sistema de produção nº 4. Dez 2004. Disponível em:

<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

FAGERIA, N. K. **Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado**. R. Bras. Eng. Agric. Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, 2001.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras UFLA / FAEPE, 2005 186p.

FASOLO, P.J. et al. **Guia para identificação dos principais solos do estado do Paraná**. Brasília: Embrapa Solos / RJ, 1986. (Doc. 10).

FERNANDES, F.; SOUZA, S.G. Estabilização de Lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C.V. (org). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e disposição Final**. Curitiba-PR: ABES, 2001, p 50-76.

FRANCHI, J.G.; SÍGOLO, J.B.; LIMA, J.R.B.; Turfa utilizada na recuperação ambiental de áreas mineradas: Metodologia para avaliação laboratorial. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 33. 2003.

FREITAS, M.; ZOCHE, J.J; ESSEMAM DE QUADROS, K. Metais pesados (Mn e Zn) em *Typha domingensis* Pers. em áreas de mineração de carvão. **Revista Brasileira de Biociências**. v. 5, n. 1, 2007.

GAIVIZZO, L.H.B. et al. Potencial poluidor de regiões carboníferas II: Efeitos da recuperação com camadas de solo sobre as plantas e a população microbiana. **Ciencia Rural**, v. 32, p. 955-961, 2002.

GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade do solo**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 276 p.

GOETHE, C.A.V. **Avaliação dos impactos ambientais da indústria carbonífera nos recursos hídricos superficiais da região sul catarinense**. 1993. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GONZALEZ-ERICO E. et al. Effect of depth of lime incorporation on growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 43, p.1155-1158, 1979.

GROLI, P.R. **Composto de lixo domiciliar urbano como condicionador de substratos para plantas arbóreas**. Porto Alegre, 1991. 125p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GTA. **Terceiro relatório de monitoramento dos indicadores ambientais**. Disponível em: <<https://www.jfsc.jus.br>>. Acesso em: 24 abr. 2012.

GUERRA, A.J.T.; BOTELHO, R.G.M. **Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos**. Rio de Janeiro: Instituto de Geociências, 1996.

HISTÓRICO da Mineração de Carvão no Estado de Santa Catarina. Portal da Ação Civil Pública do Carvão. Disponível em: <https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/portal/conteudo_portal/conteudo.php?cat=36>. Acesso em: 17 nov. 2011.

HÜLSE, J.C.; OLIVEIRA, R. **Aspectos sobre carvão mineral**. Centrais Elétricas de Santa Catarina/CELESC. 2. ed. 1985.

IBRAM. **Principais poluentes atmosféricos**. Disponível em: <www.sedhab.df.gov.br>. Acesso em: 27 nov. 2011.

IPAT – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – Universidade do Extremo Sul catarinense. Diagnóstico Ambientais Mina malha II Leste, Siderópolis, Santa Catarina. Relatório Técnico.Criciúma, 2002, 121p. (Relatório Técnico).

JORGE, J.A. **Física e manejo dos solos tropicais**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in solils and plants**. 4. ed. Boca Raton, Florida, USA. CRC Press. 2011. 520 p.

KÄMPF, A.N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2. ed. Guaíba, RS: Agro livros, 2005.

KÄMPF, N.; et al. Propriedades pedogênese e classificação de solos construídos em áreas de mineração na Bacia Carbonífera do Baixo Jacuí. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.79-88, 1997.

KAMPF, N.; et al. Solos construídos em áreas de mineração da bacia carbonífera. In: **Carvão e meio ambiente**: Centro de Ecologia da UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. p.596-640.

KORNDÖRFER, G.H. **Gesso agrícola**. Instituto de Ciências Agrárias. Disponível em:<www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 02 maio 2013.

KNOX A.S.; BRIGMON, R.L.; KAPLAN, D.I.; PALLER M.H. Interactions among phosphate amendments, microbes and uranium mobility in contaminated sediments. **Sci Total Environ**. 2008, 395:63-71

KOTZ, L.; KAISER, G.; TSCHÖPEL, P; TÖLG, G. Aufschluß biologischer matrices für die bestmmung sehr niedriger spurenelementgehalte bei gegrenzter einwaage mit salpetersäure unter druck in einem teflongefaß. **Z. Anal. Chem.** n. 260, p. 207-209. 1972.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2004. 531 p.

LEPSCH, I.F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 178 p. 2002.

LIMA, Maria Auxiliadora Coêlho de. **Nutrientes**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 01 maio 2013.

LIMA, C.L.R.; PILLON, C.N.; LIMA, A.C.R. **Qualidade física dos solos indicadores quantitativos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L.R.G. **Interpretação de análise de solo**: conceitos e aplicações. Disponível em: <<http://www.anda.org.br>>. Acesso em: 01 nov. 2012.

LUCA, F.J. de; GASTALDON, M.C. Desenvolvimento sustentável e a recuperação de áreas degradadas abandonadas pela mineração do carvão

na região sul do estado de Santa Catarina. **Revista de Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 5, n. 2, p.19-33, dez. 1999.

MACHADO, J.L.F.; PERUFFO, N.; LIMA, J. do E.S. **Programa Nacional de Prospecção para carvão, linhito e turfa: Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrentes da extração do carvão mineral**. Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais - Departamento Nacional de Produção Mineral. Relatório técnico. Porto Alegre, 1984.

MADEIRA, V.S. et al. Redução de sulfato na drenagem ácida de mina através de tratamento anaeróbio com bactérias redutoras de sulfato. In: Encontro nacional de tratamento de minérios e metalurgia extrativa, 20, 2005, Natal. **Anais**, Natal, nov. 2005.

MALAVOLTA, E.; CROCOMO, O.J. O potássio e a planta. In: Potássio na agricultura brasileira. Londrina. 1982. **Instituto da Potassa & Fosfato; Instituto Internacional da Potassa**, 1982, p.95-162.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002.

MAPA. **Instrução normativas da nº 28**. 27 de julho de 2007. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/legislacao>>. Acesso em: 05 dez. 2011.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995, 889p.

MAZUCHOWSKI, JZ.; DERPSCH, R. **Guia de preparo do solo para cultura anuais mecanizadas**. Curitiba: Acarpa, 1984. 68 p.

MAYER, F.D.; HOFFMANN, R.; RUPPENTHAL, J.E. Gestão Energética, Econômica e Ambiental do Resíduo Casca de Arroz em Pequenas e Médias Agroindústrias de Arroz. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DA UNESP**, 13. Bauru, SP, 2006.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: CERES, 1980. 251 p.

MEDEIROS, J.C. et al. Relação cálcio:magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 4, p.799-806, out/dez 2008

MONIZ, A.C. et al. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono; EDUSP, 1972.

MUNOZ HERNANDEZ, R.J.; SILVEIRA, R.I. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do Milho (*Zea mays* L.). **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 55, n. 1, 1998

MONTEIRO, K.V. Carvão: o combustível do ontem. **Núcleo amigos da terra Brasil**. Porto Alegre. 2004.

MORAES, J.F.S.M. Turfa nos estados de Alagoas, Paraíba e Rio Grande do Norte. **Informe de Recursos Minerais**, Recife, 2001.

MOREIRA, F.M.S. SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MÜLLER, Alberto Antonio et al. **Perfil analítico do carvão**. 2. ed. Porto Alegre: Dnpm, 1987.

OLIVEIRA, I. P.; SANTOS, A.B.; COSTA, K.A.P. **Produção de Sementes Sadias de Feijão Comum em Várzeas Tropicais: Correção da Acidez do Solo**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PEGORINI, E.S. et al. Qualidade do lodo de esgoto utilizado na Reciclagem Agrícola na Região Metropolitana de Curitiba – PR. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BÍOSSÓLIDOS, 1, 2003, São Paulo. **Anais ...** São Paulo, jun. 2003.

PINTO, L.F.S.; FERNANDES, F.F.; PAULETTO, E.A. Indicadores de qualidade ambiental em áreas degradadas: Recuperação de solos degradados pela mineração: da teoria termodinâmica a prática nas áreas regeneradas da mina de carvão de Candiota, RS. In: ALBA, Jose Maria

Filippini. **Recuperação de áreas mineradas a visão dos especialistas brasileiros.** Pelotas: Embrapa, 2007. p. 159-170.

PINTO, L.F.S.. **Potencial de acidificação e de neutralização das materiais geológicos para a composição do solo construído em áreas de mineração de carvão.** 1997. 186f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

POLIVANOV, H. 2000. **Pedologia – Notas de Aula, Programa de Geologia.** COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

PORTO, M. L. **Beiträge zur Schwermetallvegetation von Rio Grande do Sul, Brasilien.** 1981. 76p. Dissertation (Doktor der Naturwissenschaften) – Fakultät für Naturwissenschaften und Mathematik der Universität Ulm, Ulm.

PRETTY, K.M. O potássio na qualidade dos produtos agrícolas. In: T. YAMADA, K. IGUE, O. MUZILLI, N.R. USHERWOOD. (Eds.) **Potássio na Agricultura Brasileira.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato (EUA), p.177-194. 1982.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo:** a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002.

QUELHAS. J.S. **Fertilização – fundamentos da utilização dos adubos e correctivos.** Publicações Europa-América, Lda., Portugal, 1991

RAIJ, Bernardo Van. **Avaliação da fertilidade do solo.** 2. Ed. Campinas — S.P: Instituto Agronomico do Estado de São Paulo, 1983.

_____. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes.** 2 ed. 2011. v. 1. 420p .

RONQUIM, C.C.. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento:** Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. São Paulo: Embrapa Monitoramento Por Satélite, 2010.

SALVADOR, J.O. et al. Influencia do aluminio no crescimento e na acumulacao de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Campinas, v. 24, n. 4, p. 787-796, nov., 2000.

SANTA CATARINA. **Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral**. Atlas de Santa Catarina. Aerofoto Cruzeiro. Rio de Janeiro. 173 p. 1986.

SCHOLL, L. Van; NIEUWENHUIS, R. **Manejo da fertilidade do solo**. Wageningen: Stoas Digigrafi, 2003.

SENA, R.F. de. **Tratamento de efluentes da indústria de processamento de carnes utilizando flotação por ar dissolvido e processos de oxidação avançada**. Florianópolis, SC, 2009. 127p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SHUKLA, M.K.; LAL, R.; UNDERWOOD, J.; EBINGER, M. Physical and hydrological characteristics of reclaimed mine soils in Southeastern Ohio. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 68:1352-1359, 2004.

SILVA, J.E. Balanço do cálcio e magnésio e desenvolvimento de milho em solos sob cerrado. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.15, n.3, p.329-333, 1980.

SILVA, J.B.C. da; GIORDANO, L. de B.; FURUMOTO, O. **Cultivo de Tomate para Industrialização**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>>. Acesso em: 01 maio 2013.

SILVA, N.M.; RAIJ, B.V.; CARVALHO, L.H.; BATAGLIA, O.C.; KONDO, J.I. Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão. **Bragantia**, Piracicaba, v. 56, p. 389-401, 1997.

SILVA, R. C. et al. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 01, p.101-107, jan. 2007.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DE EXTRAÇÃO DE CARVÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA - SIECESC. Disponível em: <<http://www.siecesc.com.br>>. Acesso em: 17 nov. 2011.

SNELL, F.D.; SNELL, C.T. **Colorimetric methods of analysis**. London, 1959.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO - SBCS.

Manual de adubação e calagem. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC, 2004.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados. Planaltina - DF: Embrapa Serrado, 2005.

Circular técnica, 32.

TEDESCO, M.J. Importância do estudo da fertilidade do solo. In: GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; TEDESCO, M.J. **Princípios de fertilidade de solo.** Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 1995.

TEIXEIRA, M.B.; COURA NETO, A.B.; PASTORE U.; RANGEL FILHO, A.L.R.. Vegetação. In: **Levantamento de recursos naturais.** IBGE, Rio de Janeiro, 1986.v. 33, p. 541-632.

VELOSO, C.A.C.: et al. Relações cálcio, magnésio e potássio sobre a produção de matéria seca de milho. **ACTA Amazonica**, 2001.

Disponível em: <<http://acta.inpa.gov.br/>>. Acesso em: 20 maio 2013.

ZAR, J.H. **Bioestatistical Analysis.** New Jersey: Fifth Edition. Prentice Hall, 2010.

ZIMMERMANN, D.G. **Solos construídos em áreas mineradas como fundamento para recuperar o ambiente.** 2001. 88f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

ZOCHE-DE-SOUZA, P.; COSTA, S.; ZOCHE, J.J. *Baccharis trimera* Less. DC. como indicadora da recuperação de áreas mineradas de carvão. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, p. 702-704. 2007.

ZOCHE, J.J.; FREITAS, M.; QUADROS, K. E. Concentração de Zn e Mn nos efluentes do beneficiamento de carvão mineral e em *Typha domingensis* PERS (Typhaceae). **Revista Árvore**, n. 34, p. 1077-1088, 2010a.

ZOCHE, J.J. et al. Heavy metals and DNA damage in blood cells of insectivore bats in coal mining areas of catarinense coal basin, Brazil.

Environmental Research (New York, N.Y.). 2010b.